



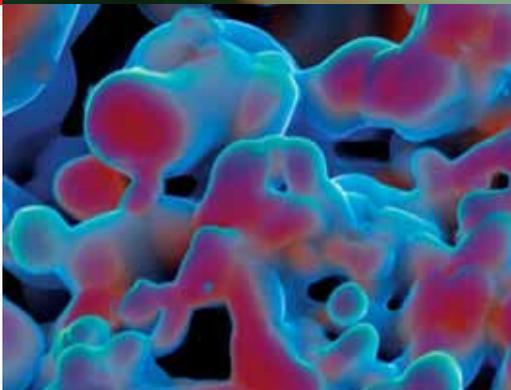
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Rahmenprogramm

Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING



BMBF PROGRAMM



Impressum**Herausgeber**

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Öffentlichkeitsarbeit
53170 Bonn

Bestellungen

Schriftlich an den Herausgeber
Postfach 30 02 35
53182 Bonn

oder telefonisch unter der
Rufnummer 01805-BMBF02
bzw. 01805-262302
Fax: 01805-BMBF03
bzw. 01805-262303
0,12 Euro/Min.

E-Mail: books@bmbf.bund.de
Internet: <http://www.bmbf.de>

Redaktion

Projektträger Jülich
Geschäftsbereich NMT
Internet: <http://www.fz-juelich.de/ptj>

Gestaltung

MEDIA CONSULTA Deutschland GmbH,
Berlin

Druckerei

Druckhaus Schöneweide, Berlin

Stand

Oktober 2003

Gedruckt auf Recyclingpapier

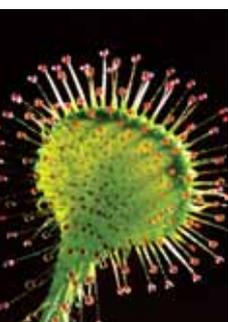
Bildnachweis

Access e.V., Aachen: S. 33
ALD Vacuum Technologies GmbH: S. 23
Barthlott, Wilhelm: Titel, S. 3, 43
BASF AG: S. Titel, 6, 41, 55, 62
Berliner Glas KGaA: S. 42
BLANCO GmbH + Co KG: S. 3, 9
CeramTec AG: S. 36
Daimler Chrysler: S. 45
Robert-Murjahn-Stiftung: Titel, S. 7
digitalvision: S. 67, 71
DLR, Braunschweig: S. 49
Emitec GmbH: S. 3, 20
eyeofscience: Titel
Feldmann, Jochen: S. 30
Fraunhofer Gesellschaft: Titel, S. 3, 29, 45, 49,
50, 52, 60, 64
Fromherz, Peter: S. 53
Forschungszentrum Geesthacht GmbH: S. 63
Hahn-Meitner-Institut (HMI): S. 58, 66
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf: S.37
Hegla, Beverungen: S. 48
Henkel KGaA: S. 2, 43
Institut für Mikrotechnik, Mainz: S. 38
Kompetenzzentrum Nanoanalytik: S. 29
Kompetenzzentrum für Biomaterialien: S. 35
Max-Planck-Gesellschaft: S. 30, 31
Nanosolutions GmbH, Hamburg: S. 10
PhotoDisc: Titel, S. 54, 68, 69
Robert Bosch GmbH: S. 39
RWTH-Aachen: S. 32, 51
Schott: S. 2, 3, 57, 59
SÖHAB Haushaltsgeräte GmbH: S.7
Siemens AG: S. 3, 2, 8, 11, 12, 13, 16, 17, 25, 26, 38
Siemens Power Generation: S. 22, 46
Universität Ulm: S. 36

Rahmenprogramm

Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING





Inhalt

1.	Ausgangssituation: Werkstoffe im 21. Jahrhundert	4
1.1.	Werkstoffe, Chemie und Nanotechnologien – eine Zukunftsinvestition	4
1.2.	Neue Werkstoffe – treibende Kraft für industrielle Innovationen	6
1.3.	Kleine und mittelständische Unternehmen im Innovationsprozess	9
1.4.	Deutschlands Position im internationalen Wettbewerb	11
1.5.	Aus- und Weiterbildung	13
1.6.	Ergebnisse der Evaluation des Programms MaTech	14
2.	Förderpolitischer Handlungsbedarf und Programmziele	18
2.1.	Stärkung der Innovationskraft von Unternehmen	19
2.2.	Berücksichtigung des gesellschaftlichen Bedarfs und Nutzung von Forschung und Technologie für nachhaltige Entwicklungen	20
3.	Vernetzung mit anderen Förderaktivitäten	23
4.	Handlungsfelder	27
4.1.	Visionen durch Interdisziplinarität	28
4.1.1.	Nanotechnologische Werkstoffkonzepte – kleine Dimensionen, große Effekte	28
4.1.2.	Computational Materials Science – rechnergestützt zu neuen Konzepten	32
4.1.3.	Bionische Werkstoffe – natürliche Bauprinzipien in der Technik	34

4.2.	Leben, Gesundheit und Gesellschaft	35
4.2.1.	Werkstoffe, Chemie und Lebenswissenschaften – der Mensch im Zentrum	35
4.2.2.	Stoffe und Reaktionen – auf chemischem Weg zu neuen Werkstoffen	37
4.2.3.	Schichten und Grenzflächen – Schutz, Funktion und Aktion	41
4.3.	Mobilität, Energie und Information	44
4.3.1.	Leichtbau – leichte Werkstoffe und Strukturen	44
4.3.2.	Ressourceneffiziente Werkstoffe – der Faktor-4-Ansatz	46
4.3.3.	Intelligente Werkstoffe – regeln ohne Regler	48
4.3.4.	Elektromagnetische Funktionswerkstoffe – Motor der Informationsgesellschaft	50
5.	Durchführung des Programms	54
5.1.	Förderinstrumentarium	54
5.2.	Förderverfahren und Förderkriterien	55
5.3.	Begleitende Programmentwicklung	56
5.4.	Internationale Zusammenarbeit	56
5.5.	Ansprechpartner	56
Anhang		
A1	Außeruniversitäre Aktivitäten in der Materialforschung	57
A2	Förderung der Materialforschung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft	66
A3	Förderung von werkstoffrelevanten Themen durch die Europäische Union	70

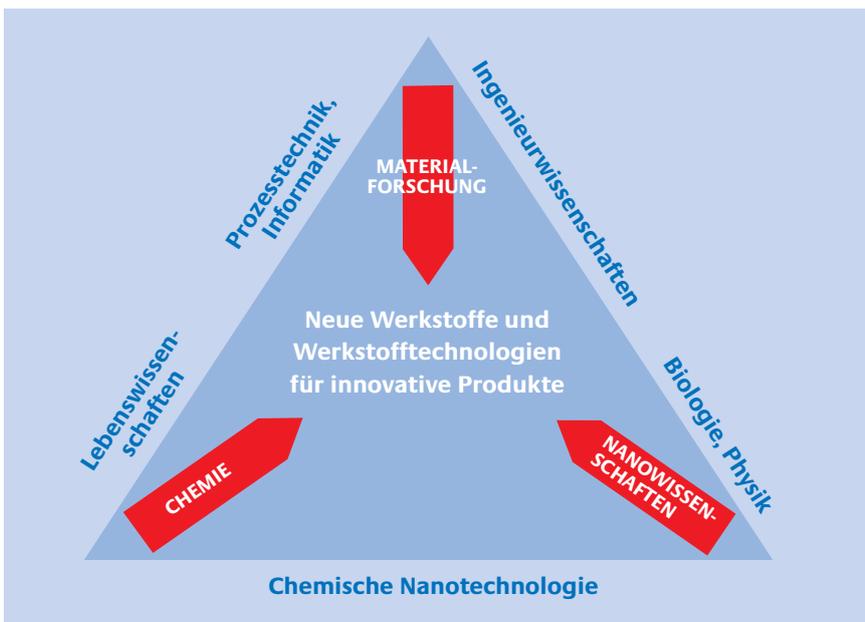


1. Ausgangssituation: Werkstoffe im 21. Jahrhundert

1.1. Werkstoffe, Chemie und Nanotechnologien – eine Zukunftsinvestition

„Materials: Shaping our Society“ befindet eine aktuelle englische Foresight-Studie. Und in der Tat, es scheint kaum etwas zu geben, was die Gesellschaft so prägt wie die Technik, und kaum etwas, was die Technik so prägt wie der Werkstoff. Waren es früher ganz bestimmte Werkstoffe, die epocheprägend wirkten („Bronzezeit“, „Eisenzeit“, „Kunststoffzeit“), sind es heute eine Vielzahl „intelligenter“ Werkstoffe, die die technische Entwicklung dominieren. Die Materialforschung – zusammen mit den relevanten Gebieten der Chemie, der Nanotechnologie und der Verfahrenstechnik – kann deshalb in ihrer Bedeutung gar nicht hoch genug eingeschätzt werden. Neuartige Werkstoffe wirken in der modernen Industriegesellschaft zunehmend als Wegbereiter

Die Integration aller für die Werkstoffentwicklung beitragender Wissens- und Technologiebereiche stellt im Förderprogramm ein wesentliches Element zur Innovation im Produkt- und Verfahrensbereich dar.
Quelle: PTJ-NMT



für Wohlstand und Arbeitsplätze und verbessern die Wettbewerbsfähigkeit technologieorientierter Unternehmen, mit ihnen wächst Lebensqualität, Sicherheit und Mobilität.

Innovationen im Werkstoff- und Verfahrensbereich ermöglichen nicht nur diese deutlichen Fortschritte für die Entwicklung der Gesellschaft und für die Lebensqualität der Menschen, sondern sind auch häufig die treibende Kraft für industrielle Produktentwicklungen. Die für Deutschland wichtigen Industriebranchen wie Fahrzeugbau, Maschinenbau, chemische Industrie, Elektrotechnik/Elektronik, Informations- und Kommunikationstechnik sowie die Energieversorgung, die gemeinsam entscheidend zum Handelsbilanzüberschuss beitragen, profitieren in hohem Maße von materialbasierten Entwicklungen. Innovationen im Werkstoffsektor müssen möglichst rasch von der Industrie in wettbewerbsfähige Produkte umgesetzt werden, auch in den Bereichen öffentlich-technische Sicherheit, Nachhaltigkeit und hierbei insbesondere Ressourcenschonung.

Jahrtausendlang entwickelte der Mensch Werkstoffe aus seiner Erfahrung heraus und ohne deren innere Struktur im Einzelnen zu kennen. Erst in den letzten 150 Jahren kamen wissenschaftliche Methoden auf, die ein vertieftes Verständnis der festkörperphysikalischen und chemischen Phänomene und Eigenschaften von Werkstoffen ermöglichten. Im Vordergrund standen dabei hoch auflösende analytische Methoden der Licht- und Elektronenmikroskopie. Das neu gewonnene Wissen konnte nun zum gezielten „Maßschneidern“ von Werkstoffen genutzt werden.

Nickel-Basis-Superlegierungen, III/V-Halbleitermaterialien, elektrisch leitfähige Kunststoffe oder photochemische Kristalle stehen hier beispielhaft für wissenschaftliche und technologisch höchst anspruchsvolle Werkstoffe mit hohem Wertschöpfungspotenzial. Aber der Weg ist noch nicht zu Ende. Im Gegenteil, die Nanotechnologie und die Lebenswissenschaften, so die Nanobiotechnologie, stoßen die Türen auf zu ganz neuen Werkstoffen, ganz neuen Verfahrensprinzipien und ganz neuen Produkten.

Die Nanotechnologie eröffnet die Möglichkeit, Stoffe künftig Atom für Atom „Step by Step“, passend für den jeweiligen Anwendungszweck aufzubauen (u. a. Nanopartikel mit extrem großer Oberfläche und ultradünnen Schichten). Wichtig ist die Schnittstelle zu den Lebenswissenschaften. Hier ergeben sich, abgeleitet von biologischen Aufbauprinzipien, z. B. synthetische Prozessrouten oder neue Funktionen für so genannte biomimetische Materialien.

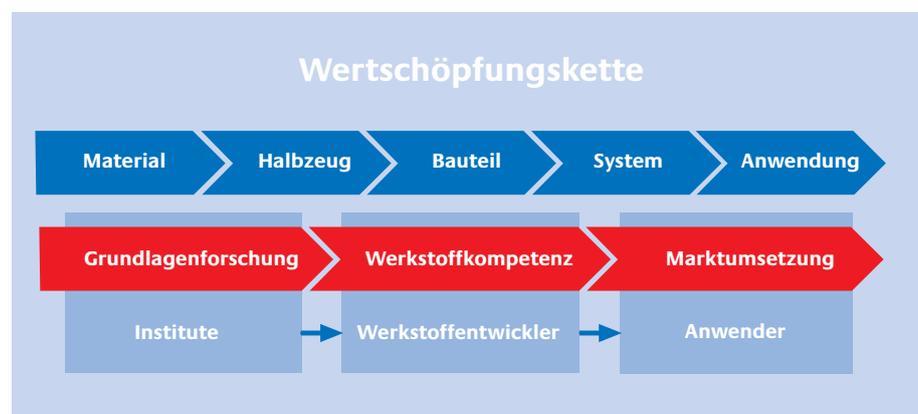
Ein weiteres, innovatives Querschnittsfeld für die Werkstoffentwicklung ist die „Computational Materials Science“, die es erlaubt, Materialien computergestützt zu entwickeln. Man kann damit ihre Herstellung und Verarbeitung simulieren bis hin zur Vorhersage, wie sich das Bauteil später verhalten wird. Die moderne Werkstoffentwicklung ist deshalb hochgradig interdisziplinär; Verfahrenstechniker/innen, Mediziner/innen, Biologen/innen und Informatiker/innen werden genauso gebraucht wie

Chemiker/innen, Physiker/innen und Materialwissenschaftler/innen.

Werkstoffforschung hat dabei intensive Auswirkungen auf eine Vielzahl anderer Technologiefelder: Nanoelektronik, optische Technologien und Fertigungstechnik sind tief in der modernen Materialwissenschaft verankert. Deshalb sind Sicherung und Ausbau einer führenden Position in der Werkstoffentwicklung für viele Unternehmen ein Schlüssel zur dauerhaften Stärkung ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit. Mehr als drei Viertel der 20 größten deutschen Industrieunternehmen stufen die Materialforschung als bedeutend bis sehr bedeutend für ihre zukünftige Unternehmensentwicklung ein. Diese impulsgebende Wirkung ist sowohl für die Entwicklung wichtiger Industriebranchen als auch für Umwelt und Gesellschaft der Grund für die engagierte Förderung des Gebietes in fast allen Industrieländern.

Investitionen in die Materialforschung haben allerdings häufig einen grundsätzlichen Nachteil: Vielfach partizipiert der eigentliche Werkstoffhersteller nur geringfügig an der späteren, oft hohen Wertschöpfung im Bauteil bzw. System, obwohl bei ihm der überwiegende FuE-Kostenanteil anfällt. Zudem benötigt der Markt meist nur geringe Werkstoffmengen, insbesondere bei Funktionswerkstoffen oder Schichtmaterialien. Dies sind gravierende Innovationshemmnisse. Sie müssen durch partnerschaft-

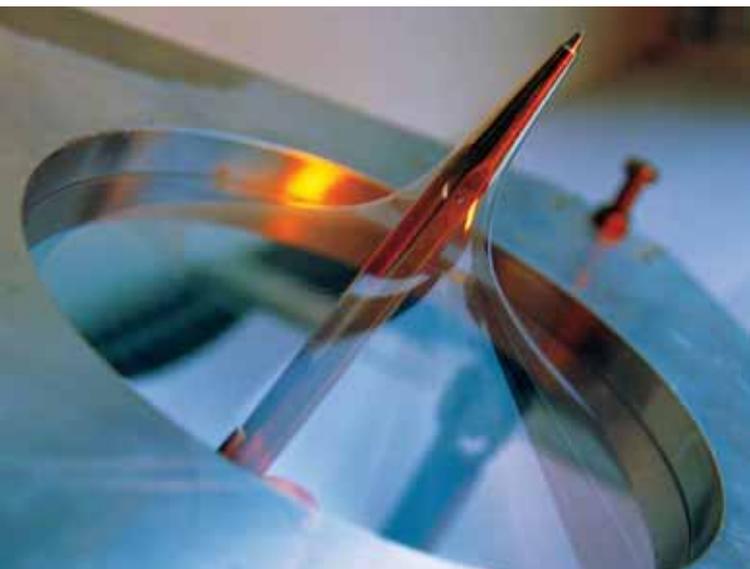
Prinzipskizze der Wertschöpfungskette in der Werkstoffentwicklung
Quelle: PTJ-NMT



liche Kooperationen in den Förderprojekten oder durch eine spätere Erfolgsbeteiligung überwunden werden. Auf der anderen Seite können kleine und mittlere Unternehmen derartige Nischenmärkte, die für Großunternehmen nur wenig attraktiv sind, erfolgreich besetzen, vor allem im Entwicklungsverbund mit Forschungseinrichtungen. Die Interdisziplinarität bleibt allerdings auch hier eine wichtige Forderung, unverzichtbar ist der integrative Ansatz. Im 21. Jahrhundert werden voraussichtlich Herstellmethoden große Bedeutung erlangen, bei denen sich Moleküle, Werkstoffe oder vielleicht sogar kleinere Bauteile selbstorganisierend aufbauen. Das Schlüsselphänomen ist hierbei die Selbstorganisation als Konstruktionsprinzip. Bei diesem Prozess fügen sich Atome, Moleküle, Molekülverbände bis hin zu Bauteilen selbstständig zu wohl geordneten, funktionierenden Einheiten zusammen. Selbstorganisation ist ein Grundprinzip der Natur.

Entscheidend für die Zukunft wird sein, ob es gelingt, diese Prozesse zu beherrschen und für techni-

Polyethylen-Folie (Handelsname: Luflexen) mit katalysatorbestimmten Dehnungseigenschaften: Mit Metallocen-Katalysatoren lässt sich der Massenkunststoff Polyethylen derart verbessern, dass z. B. Folien hergestellt werden können, die extrem reißfest sind.
Quelle: BASF AG



sche Systeme zu nutzen. Einen Weg dahin eröffnet die supramolekulare Chemie. Aus organischen oder anorganischen molekularen Einheiten lassen sich Riesenmoleküle entwerfen und herstellen. Wird der chemische Aufbau der einzelnen Strukturelemente richtig gewählt, können sie sich zu größeren Systemen mit spezifischen und reproduzierbaren Funktionen auf der Nanoskala selbst organisieren. Interessante Möglichkeiten hierzu bietet die Stoffklasse der so genannten Dendrimere. Ausgehend von einer zentralen Struktureinheit organisieren sie sich unter geeigneten Reaktionsbedingungen selbst und bilden immer stärker verzweigte, aber wohl geordnete Strukturen bis hin zu Riesenmolekülen. Diese können Abmessungen von mehreren 100 Nanometern oder sogar Mikrometern erreichen. Solche Partikel/Systeme finden u. a. Anwendung in der Diagnostik oder als Drug-Delivery-Systeme, mit deren Hilfe man gezielt Therapeutika an den Wirkort transportieren und dort dosiert freisetzen kann (z. B. Chemotherapeutika am Tumor).

Fassen wir zusammen:

Materialforschung – ein Technologiefeld, das untrennbar mit der KMU-Szene und mittlerweile auch mit hohem Risiko im High-Tech-Bereich verbunden ist – bildet geradezu den klassischen Fall für staatliche Forschungsförderung, denn hier könnten kleine Fördermittelbeträge schon in vergleichsweise kurzer Zeit Früchte tragen.

Die Förderprogramme des BMBF zeigen eine deutliche Entwicklung: Aus Materialforschung (MatFo, bis 1993) wurde Materialtechnik (MaTech – Werkstoffe für Zukunftstechnologien, bis 2003), aus MaTech das offene integrative Konzept WING (ab 2004), das erstmalig den Zusammenschluss mit Nanotechnologie und chemischer Forschung bringt.

1.2. Neue Werkstoffe – treibende Kraft für industrielle Innovationen

Die Wirtschaftskraft hoch entwickelter Industriegesellschaften ist stark abhängig von Erfolgen in der Werkstofftechnologie, denn viele bedeutende Inno-

vationsschübe sind nur auf der Basis neuer Materialien zu verwirklichen. Beispiele sind die Medizintechnik, die ressourcen- und umweltschonende Energiebereitstellung, neue Fahrzeugkonzepte zur Verwirklichung umweltgerechter Mobilität oder hochintegrierte Komponenten der Informations- und Kommunikationstechnik. Angesichts steigender Weltmarktpotenziale für FuE-intensive Produkte hat die Werkstofftechnik erheblichen Einfluss auf den Erhalt und Ausbau einer führenden Technologieposition und damit auf Arbeitsplätze am Standort Deutschland.

Jenseits der konjunkturellen Auf- und Abs und auch jenseits unterschiedlicher Wachstumspfade beobachtet die Weltwirtschaft in den letzten 20 Jahren einen doppelten Strukturwandel. Zum einen expandieren die forschungs- und wissensintensiven Wirtschaftszweige zu

Lasten derjenigen, die weniger auf den Einsatz hoch qualifizierten Personals angewiesen sind. Zum anderen ist das Wachstum des industriellen Sektors im Vergleich zu dem des Dienstleistungssektors ziemlich verhalten. Dies hat zur Konsequenz, dass nicht einmal forschungsintensive Industrien das gesamtwirtschaftliche Wachstumstempo halten können.

Die wesentlichen strukturellen Unterscheidungsmerkmale Deutschlands vom weltwirtschaftlichen Durchschnitt lassen sich wie folgt beschreiben: Deutschland verfügt über einen ausgesprochen großen forschungsintensiven (Industrie-)Sektor. Innerhalb des forschungsintensiven Sektors ist jedoch ein Übergewicht des Sektors „Hochwertige Technologie“ in einem Umfang auszumachen, wie es unter den westlichen Industrieländern seinesgleichen sucht. Der Spitzentechniksektor wiederum ist für ein hoch entwickeltes Industrieland als recht klein anzusehen.



Links: Handy-Display-Fenster aus Kunststoff (PMMA: Polymethylmethacrylat) mit einer Kratzfestbeschichtung aus acrylatbasiertem Nanokompositlack (Werksmuster) auf der linken unteren Hälfte; obere rechte Hälfte: ohne Beschichtung.

Quelle: Deutsche Amphibolin-Werke von Robert-Murjahn-Stiftung & Co. KG

Unten: High-Tech-Materialien für den Alltag: Die keramische Sohle für Dampfbügel-eisen verdeutlicht beispielhaft Anwendungsvorteile durch den Einsatz von Hochleistungskeramik. Die Entwicklung des Demonstrators erfolgte durch den Fraunhofer-Verbund Hochleistungskeramik mit Unterstützung der SÖHAB Hausgeräte GmbH.

Quelle: SÖHAB Hausgeräte GmbH



Deutschland verfügt weiterhin über einen schwach ausgeprägten nicht wissenschaftsintensiven Dienstleistungssektor. Auch dieses Muster ist in einer extremen Form vorzufinden, wie man es sonst unter den OECD-Ländern nur in Finnland und Korea findet. Letztlich hat dies in Deutschland zur Konsequenz, dass sich die Beschäftigungsprobleme immer deutlicher bemerkbar machen.

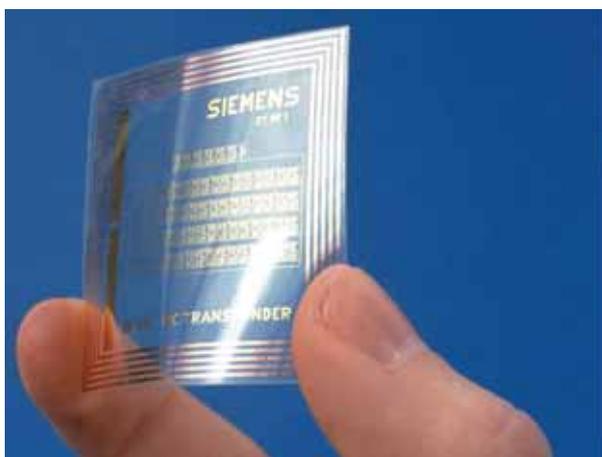
In forschungsintensiven Wirtschaftszweigen müssen und können Werkstoffinnovationen dazu beitragen, vorhandene Defizite abzubauen, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie vor allem auf technologiegetriebenen und leistungsstarken Gebieten weiter zu stärken und damit qualifizierte Arbeitsplätze zu erhalten und zu schaffen. Im Rahmen des sich vollziehenden Strukturwandels konzentrieren sich deutsche Großunternehmen auf Geschäftsfelder, in denen sie international wettbewerbsfähig sind, womit tendenziell folgende Entwicklungen einhergehen:

- Unternehmen stellen vielfach den Systemgedanken mehr in den Vordergrund und entscheiden sich für eine stärkere vertikale Integration von Technologien. Dadurch erhöht sich die Wertschöpfung innerhalb der Firma.

- In der Automobilbranche ist ein Wachstum von FuE-Kompetenz im Zuliefererbereich zu verzeichnen: Aus KMU entstehen hochkompetente, FuE-aktive Großunternehmen.
- Vielfach dünnen Großunternehmen ihre grundlagenorientierte Forschung und Entwicklung stark aus, bis hin zur völligen Auflösung einer zentralen Forschungsabteilung. Dadurch findet dort kaum noch explorative Forschung statt – FuE-Leistungen werden auf KMU und Forschungseinrichtungen ausgelagert.
- Die Zeithorizonte von FuE-Projekten werden immer kürzer: Time-to-market und immer kürzere Produktzykluszeiten gelten als Erfolgsfaktoren. (Vgl. auch Bericht: „Zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2002“, BMBF, Februar 2003)

Trotz dieser schwierigen Prämissen wird deutlich, dass es sich für die Firmen trotzdem lohnt, in mittel- bis langfristige Werkstoffentwicklungen zu investieren. Dies zeigen auch die technischen und wirtschaftlichen Erfolge der öffentlichen Förderprojekte. Vor diesem Hintergrund ist die engagierte Förderung der Werkstoffforschung durch die öffentliche Hand in allen bedeutenden Industriena-tionen zu sehen.

Kunststoff-Chips ermöglichen den Aufbau sehr preiswerter, flexibler Schaltungen, z. B. als sogenannte Radio Frequency Ident (RFID) Tags zur kontaktlosen elektronischen Datenübertragung (Bild links). Mit diesen „funktionalen Polymeren“ lassen sich elektronisch auslesbare Strichcodes auf Verpackungen anbringen, die ein einfaches Auslesen der Waren an der Supermarktkasse ermöglichen (Bild rechts).
Quelle: Siemens AG



Die Entwicklung neuer Materialien erfordert Kreativität, Know-how und wirtschaftlichen Weitblick. Manchmal ist spezifische Funktionalität gefragt, manchmal hohe Vielseitigkeit. Manche Werkstoffe sollen sich möglichst gut an wechselnde Erfordernisse anpassen, andere besonders stabil und möglichst kompatibel zu etablierten Produktionsprozessen sein. Im Vordergrund steht aber immer der höhere Kundennutzen im Vergleich zur konventionellen Lösung. Dies können völlig neue Materialeigenschaften sein, eine bessere Wirtschaftlichkeit durch kostengünstigere Herstellungsverfahren, umweltfreundlichere Verfahren oder längere Standzeiten der Komponenten. Die eigentliche Wertschöpfung wird überwiegend von der Vermarktung des Endproduktes bestimmt. Es ist wichtig, die einzelnen Innovationsstufen miteinander zu verknüpfen und industrielle Forschungsverbünde entlang der Wertschöpfungsketten zu bilden. So werden in einem möglichst frühen Entwicklungsstadium alle relevanten Industriepartner eingebunden.

1.3. Kleine und mittelständische Unternehmen im Innovationsprozess

Die Bedeutung kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) in Produktion, Verarbeitung und Dienstleis-

tung hat in Deutschland in den letzten zwei Jahrzehnten erheblich zugenommen. Begleitet wurde diese Entwicklung durch eine rege Gründungsaktivität im Bereich innovativer Technologien wie z. B. den IuK, der Biotechnologie, den neuen Materialien oder der Nanotechnologie. In wichtigen Branchen – so auch im Bereich Materialentwicklung – spielen KMU inzwischen eine Schlüsselrolle im Innovationssystem. Häufig besetzen sie spezifische Nischen in der Wertschöpfungskette zwischen Grundlagenforschung, angewandter Forschung, Produkt- und Anwendungsentwicklung. Sie nehmen dabei die Funktion von Direktanbietern, Zulieferern oder Dienstleistern wahr und produzieren entweder einzelne Komponenten für Großunternehmen oder bieten maßgeschneiderte Systemlösungen oder Serviceleistungen an. Aufgrund der flachen Hierarchien in KMU sind die firmeninternen Entscheidungs- und Informationswege kurz, die Strukturen flexibel und die Mitarbeiter/innen hoch motiviert und überdurchschnittlich kreativ.

Neugründungen von Unternehmen beleben den Wettbewerb, tragen zur Erneuerung und Umstrukturierung traditioneller Branchen bei, beschleunigen den technischen Fortschritt und die Entwicklung von High-Tech-Gebieten und sorgen für die

Spülen aus dem neuen Werkstoff Silgranit PuraDur sind leicht zu reinigen, denn ein wasser- und schmutzabweisender Werkstoff ist im Material enthalten und auch noch nach Jahren wirksam. Wasser, Schmutz, Kalk und Flecken, wie schwarzer Tee, Kaffee oder Rotwein, finden darauf keinen Halt und lassen sich einfach mit einem feuchten Tuch abwischen. Das Material ist robust, kratzfest, lichtecht und hitzebeständig bis 280 °C.

Quelle: BLANCO GmbH + Co KG



rasche Verbreitung neuer Technologien. Erhebliche Bedeutung bei der Gründung innovativer High-Tech-Firmen haben Ausgründungen aus Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Insbesondere Fraunhofer-Institute und industrieorientierte, so genannte „An-Institute“ an Hochschulen sind hier Vorreiter. Zwischen 1996 und 2000 sind pro Jahr etwa 2.500 Unternehmen aus Forschungseinrichtungen und Hochschulen hervorgegangen. Auch durch zunehmendes Outsourcing von Teilen der Wertschöpfung aus großen Unternehmen ergibt sich oft eine neue, vertikale Arbeitsteilung zwischen KMU, Großunternehmen und Forschungseinrichtungen. KMU werden dabei auf ihrem jeweiligen Spezialgebiet kompetente und wichtige Kooperationspartner.

Aufgrund begrenzter Ressourcen sind KMU meist nicht in der Lage, intensive Forschung zu betreiben oder materialbasierte Innovationsprozesse von der Entwicklung und Charakterisierung eines Werkstoffs bis hin zu seinem Einsatz selbst durchzuführen. Viel-

Zur Sicherung von z. B. Kunstgegenständen oder Dokumenten wurde eine spezielle Ink-Jet-Tinte entwickelt. Unter Tageslicht ist die Markierung unsichtbar, während unter UV-Licht die Markierung sichtbar wird. Dies wird durch Dispergierung verschiedener Nanopartikel in der Tinte erreicht, die unter UV-Anregung fluoreszieren. Das Beispiel zeigt die unsichtbare Markierung des Bildes „Mona Lisa“ unter Tageslicht und die sichtbare Markierung unter UV-Licht.
Quelle: Nanosolutions GmbH, Hamburg



mehr sind häufig spezifische Kernkompetenzen ausgebildet, die möglichst breit vermarktet werden. Besonders wichtig für den Erfolg der KMU ist deren stetiger Zugang zu Know-how (u. a. aus der Grundlagenforschung) und die enge Anbindung an die Großindustrie, an Zulieferer und andere Glieder der Material-Wertschöpfungskette. Eine erfolgreiche Etablierung auf dem Markt setzt außerdem einen aktiven und intensiven Technologietransfer voraus. Durch die Integration der Unternehmen in Netzwerken und Zentren und durch Partizipation an Verbundprojekten wird dies gewährleistet.

Durch den verschärften globalen Wettbewerb auf potenzialträchtigen Technologiefeldern haben die Entwicklungsrisiken für KMU erheblich zugenommen. Hinzu kommen oft lange Erprobungs-, Genehmigungs- und Versuchszeiten. Markteintrittsbarrieren, Fachkräftemangel und hohe Investitionen für den Fertigungsaufbau stellen weitere Risiken für innovative KMU dar.

Das BMBF unterstützt deshalb KMU, die sich über Innovationen neue Märkte erschließen oder ihre Marktposition mithilfe risikoreicher Entwicklungen ausbauen wollen. In der Regel haben KMU, die neue Werkstoffe herstellen oder anwenden, nicht die Kapazität, die erforderlichen wissenschaftlich-technischen Grundlagen selbst zu erarbeiten. Sie sind daher besonders auf einen gut funktionierenden Know-how-Transfer aus dem institutionellen Bereich und aus gemeinsamen FuE-Projekten mit der Großindustrie angewiesen. Die BMBF-Förderung unterstützt dabei insbesondere Forschungsprojekte, in denen Großunternehmen, klein- und mittelständische Firmen und Forschungseinrichtungen arbeitsteilig kooperieren. Eine staatliche Unterstützung ist oft ausschlaggebend bei der unternehmensinternen Entscheidung für oder gegen ein Projekt. *De facto* verringert die Förderung die „Hemmschwelle“ der Industrie beim Einstieg in übergreifende und volkswirtschaftlich wichtige Themen beträchtlich. Insbesondere Start-ups sind auf Fördermittel angewiesen, weil sie risikoreiche Entwicklungen nicht ausschließlich selbst finanzieren können.

Auf dem mit hohem Entwicklungsrisiko und starken Substitutionseffekten verbundenen werkstoffbasierten Sektor müssen weiterhin langfristige FuE-Kooperationen zwischen Großunternehmen, KMU und Forschungseinrichtungen aufgebaut und gefestigt werden. Das gilt in differenzierter Form sowohl für die Massenproduktion als auch für lukrative Nischenmärkte und für FuE-Dienstleistungen bzw. für die Auftragsforschung hoch spezialisierter kleinerer Unternehmen.

Die Bundesregierung hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen in Deutschland für KMU zu verbessern, Hemmnisse im Innovationsprozess abzubauen und mithilfe flankierender Fördermaßnahmen zur nachhaltigen Stärkung des KMU-Sektors beizutragen. Dabei ist im Rahmen von WING u. a. eine spezifische KMU-Fördermaßnahme geplant, die junge forschungsintensive Unternehmen bei der Etablierung am Markt unterstützen soll.

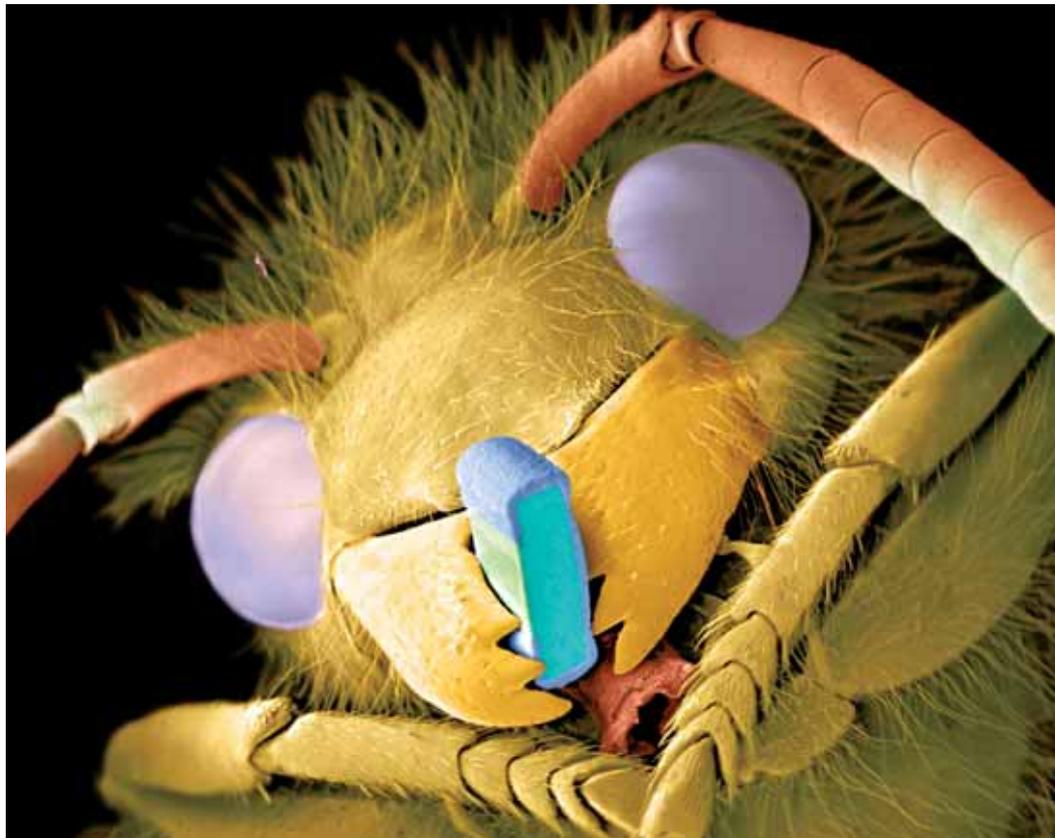
1.4. Deutschlands Position im internationalen Wettbewerb

Die technologische Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit jeder Industrienation hängt ab von Umfang und Geschwindigkeit, mit der Innovationen in wirtschaftlichen Erfolg umgesetzt werden. Deutschlands Außenhandelsstärke beruht in erster Linie auf Hochtechnologieprodukten und Dienstleistungen für eher traditionelle Märkte (siehe Studie zur Evaluierung des Programms MaTech, Arthur D. Little, 2003). Bei for-

Bauteile aus Liliput: Künftige Kommunikationsgeräte, ob Handys oder Organizer, erfordern immer kleinere Bauteile, hier ein SMD-Bauelement im Vergleich zum Kopf einer Wespe.
Quelle: Siemens AG

schungsintensiven Gütern mit hoher Relevanz für Materialentwicklungen ist die deutsche Wirtschaft gut positioniert, in einigen Gebieten sogar führend. So beträgt der Weltmarktanteil Deutschlands in diesem Sektor rund 18 %. Hierzu zählen die wirtschaftlich starken Branchen Fahrzeugbau, Maschinenbau, Elektrotechnik/Elektronik und chemische Industrie, deren FuE-Anteil bei 3,5 bis 8,5 % liegt. In der FuE-intensivsten Kategorie der Spitzentechnologie mit einem FuE-Anteil über 8,5 % ist Deutschland mit einem Weltmarktanteil von nur 9,3 % schwächer positioniert.

Das Beispiel der kapital- und FuE-intensiven Automobilindustrie mit 770.000 Beschäftigten in Deutschland, einem Umsatz von 202 Mrd. Euro und 60 % Exportanteil zeigt, dass sich eine international führende Position nur mit überdurchschnittlichen FuE-Anstrengungen halten lässt. Dabei konzentriert sich die FuE insbesondere auf Ingenieurleistungen für Entwick-



lung, Planung und Konstruktion und weniger auf die Grundlagenforschung, die zunehmend durch gut ausgestattete Forschungseinrichtungen im Auftrag durchgeführt wird. Ein weiterer Trend in der Automobilindustrie ist die Auslagerung der Komponentenentwicklung auf Zulieferbetriebe, die mittlerweile mit 28 % am Gesamtumsatz der Branche beteiligt sind. Auf der institutionellen Seite zeichnet sich die Materialforschung in Deutschland durch umfangreiche Aktivitäten auf einer Vielzahl von Themengebieten aus. Die Bandbreite reicht dabei von der Grundlagenforschung bis zur anwendungsorientierten Entwicklung. Dabei hat sich die außeruniversitäre Materialwissenschaft (siehe Anhang), die zum Teil in andere natur- und ingenieurwissenschaftliche Disziplinen eingebunden ist, in Ergänzung zur traditionell universitären Materialwissenschaft quantitativ und qualitativ gut entwickelt.

Bereits im Vorgängerprogramm MaTech ist es gelungen, das außeruniversitäre Forschungspotenzial auf dem Gebiet der Werkstofftechnik einzubinden in industrielle Verbundprojekte. Dieser Weg des beschleunigten Know-how-Transfers muss im Programm weiter verstärkt werden. Auf der anderen Seite sollen programmatische Impulse auch eine

thematische Orientierung für zukünftige FuE-Aktivitäten geben. Insofern wird die Effizienz des Förderprogramms auch daran gemessen, ob es gelingt, die Forschungslandschaft strukturell und thematisch mit den technologischen Bedürfnissen der Wirtschaft zu verknüpfen.

Die Delphi-Studie von 1998 betont im Bereich „Chemie und Werkstoffe“, dass dieses Themenfeld eine herausragende Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung hat. Die Werkstofftechnologie hat demnach eine Schlüsselfunktion auch für die deutsche Wirtschaft, sie stärkt die Wettbewerbsfähigkeit innovativer Branchen und kompensiert den Mangel an natürlichen Ressourcen. Gegenüber der Umfrage von 1993 hat sich die FuE-Position Deutschlands im Bereich Chemie und Werkstoffe in der Studie von 1998 erheblich verbessert. In 33 von 104 Delphi-Thesen weist Deutschland den höchsten FuE-Stand auf. Bezüglich der ökonomischen Bedeutung der FuE-Führungsrolle Deutschlands und der Lösung ökologischer Probleme nimmt der Fahrzeugbau eine wichtige Position ein.

Auch die USA und Japan unternehmen enorme Anstrengungen, um ihre internationale Position auf dem Gebiet der Werkstofftechnologie zu stärken und davon wirtschaftlich zu profitieren. In den USA sind dazu in den vergangenen Jahren drei große Programme auf den Weg gebracht worden: die Nanotechnologie-Initiative (mit einem Budget von rund 1,7 Mrd US Dollar für den Zeitraum 2001–2003), die „Materials Design and Engineering“-Initiative und die Initiative in „Computational Materials Science“. Im japanischen Forschungshaushalt des Jahres 2002 verzeichneten die Bereiche Werkstoffforschung und Nanotechnologie mit 13 % die mit Abstand größte Steigerungsrate auf nun umgerechnet 340 Mio. Euro. Davon entfällt rund ein Viertel allein auf die Nanotechnologie.

Nach einer Abschätzung des Wissenschaftsrates und des Projektträgers Jülich wurde die Materialforschung in Deutschland im Jahr 2002 mit 420 Mio. Euro durch den Bund (BMBF), die Länder und die EU aus öffentlichen Mitteln gefördert. Davon entfielen ca. 335 Mio. Euro auf den institutionellen Bereich



und ca. 85 Mio. Euro auf den industriellen Sektor. Den größten Anteil der öffentlichen Gelder trägt dabei das BMBF mit ca. 260 Mio. Euro, gefolgt von den Ländern mit ca. 140 Mio. Euro. Sie finanzieren insbesondere die universitäre Materialforschung. Wünschenswert ist auch eine verstärkte Teilnahme deutscher Antragssteller am Europäischen Forschungsrahmenprogramm, das die Themen Nanotechnologie, Material- und Produktionstechnologie innerhalb der dritten thematischen Priorität berücksichtigt. Im Jahr 2002 warben deutsche Antragssteller ca. 20 Mio. Euro aus dem 5. EU-Forschungsrahmenprogramm (FP5) ein. Im Rahmen des Nachfolgeprogramms FP6 (Laufzeit von 2002-2006), stehen für die dritte thematische Priorität rund 1,5 Mrd. Euro an Fördermitteln zur Verfügung.

1.5. Aus- und Weiterbildung

Die wissensbasierte Gesellschaft der hoch industrialisierten Staaten ist auf gut ausgebildete Arbeitskräfte angewiesen. Sie sind eine unverzichtbare Voraussetzung für Wohlstand und Wachstum. Aus diesem Grund sind besondere Anstrengungen zu unternehmen, damit gerade in den Wachstumsbranchen genügend kompetente Fachkräfte zur Verfügung stehen. Am besten sollten entsprechende Aktivitäten bereits im schulischen Bereich beginnen. Dort lässt sich bei den Schülern/innen Interesse wecken und eine solide Basis legen.

Die Naturwissenschaften müssen deshalb im Lehrplan fest verankert sein und mit einer ausreichenden Wochenstundenzahl gelehrt werden. Aktionen wie die Wissenschaftsjahre des BMBF (Physik, Lebenswissenschaften, Geowissenschaften, Chemie, Technik) sind gute Ansatzpunkte, um Interesse in der Öffentlichkeit, vor allem bei der Jugend, zu wecken.

Im Hochschulbereich sollte neben dem wichtigen Grundlagenwissen auch verstärktes Gewicht auf anwendungsorientiertes Denken gelegt werden. Die Werkstoffforschung in Deutschland steht für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit und ein breites technologisches Anwendungsfeld. Auch unter diesen Randbedingungen stellt sie besondere Herausforderungen an die Hochschulausbildung. Neben den klassischen Disziplinen der Werkstoffwissenschaften müssen zunehmend auch chemische, biologische und ingenieurwissenschaftliche Kenntnisse stehen. Materialforscher/innen werden beispielsweise zukünftig im Themenfeld der Nanotechnologie ein breites Betätigungsfeld finden können. Aber gerade hier ist es notwendig, in gezielten Aufbaustudiengängen Disziplinen wie die chemische Nanotechnologie oder die Nanobiotechnologie anzu-



bieten. Dabei wird auch die Erhöhung des Anteils an Frauen in den traditionell von Männern dominierten Fachdisziplinen (Physik, Chemie und Ingenieurwissenschaften) zu forcieren sein, was bereits frühzeitig das Interesse von Schülerinnen an Naturwissenschaften voraussetzt.

Sowohl im ausgelaufenen Programm MaTech als auch im Förderprogramm WING hat die werkstoffliche Ausbildung großes Gewicht, und zwar auf ganz unterschiedlichen Ebenen: Zum einen soll der Nachwuchs an Universitäten und außeruniversitären Einrichtungen möglichst in interdisziplinären Gruppen grundlagenorientiert, aber mit industrierelevanten Themen gefördert werden. Zum anderen sollen sich die einschlägigen Berufsgruppen in industriellen Verbundvorhaben weiterbilden und qualifizieren. Gerade derartige Verbundprojekte, in denen Forschungseinrichtungen in einem Konsortium gemeinsam mit der Industrie an einem anwendungsorientierten Thema arbeiten, ermöglichen einen interessanten Austausch: Die Hochschulpartner bekommen Einblicke in die industrielle Entwicklungswelt und die Industrie kann vom grundlagenorientierten Wissen der Forschungspartner profitieren. Besonders deutlich wirkt sich dies bei der Zusammenarbeit von Hochschulen mit Unternehmen des Mittelstands aus. Letztere besitzen oft nicht die personellen oder finanziellen Ressourcen für eine intensive Werkstoffforschung. Öffentlich geförderte Verbundprojekte können diese Lücke schließen und Aus- und Weiterbildung auf projektspezifischer Ebene ermöglichen.

1.6. Ergebnisse der Evaluation des Programms MaTech

Das BMBF-Förderprogramm „MaTech – Neue Materialien für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts“ wurde Anfang 2003 von der Consulting-Firma Arthur D. Little im Auftrag des BMBF evaluiert. Analysiert wurden die inhaltliche und konzeptionelle Wirksamkeit der Projektförderung und das Entwicklungspotenzial im Werkstoffbereich, woraus Handlungsempfehlungen für eine zukünftige Förderung des Gebietes abgeleitet wurden. Alle von

1994 bis Mitte 2002 geförderten Projekte wurden in die Evaluation mit einbezogen.

Ziele des MaTech-Programms

Das 1994 gestartete MaTech-Programm hatte das Ziel, eine international führende Technologieposition in Schlüsselbereichen der Materialtechnik zu erarbeiten und auszubauen und die Transfer- und Umsetzungskompetenz zu stärken. Es sollten durchgängige Innovationsketten entstehen, die einen nachhaltigen Beitrag zur technologischen Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschland in wichtigen Branchen leisten. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden im Rahmen von MaTech insgesamt 303 Verbundvorhaben mit 949 FuE-Partnern durchgeführt. Die Fördersumme betrug 530 Mio. Euro, die Gesamtkosten lagen bei 955 Mio. Euro. Das wichtigste Förderinstrument mit einem Anteil von fast 90 % waren industrielle Verbundvorhaben unter Beteiligung von Großunternehmen, KMU und Instituten. Die Zusammenarbeit sollte interdisziplinär ausgerichtete Innovations- und Wertschöpfungsketten stimulieren und die Anwendungsorientierung sichern. Weitere Fördermöglichkeiten waren top-down-orientierte Bekanntmachungen zur Stimulierung neuer Innovationsfelder mit hohem Anwendungspotenzial, die Förderung von so genannten MaTech-Zentren zur gezielten Unterstützung des Mittelstands und die Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Ergebnisse der Wirkungsanalyse

Die Wirkungsanalyse bestätigte, dass das Programm MaTech die gesteckten Ziele gut erreicht hat. Durch die verstärkte Anwendungsorientierung wurden materialbasierte Wertschöpfungsketten ausgebaut, der Transfer von Ergebnissen aus der Grundlagenforschung in die angewandte Forschung und Produktentwicklung beschleunigt sowie die Weiterentwicklung der materialtechnischen Kompetenz am Standort Deutschland wirkungsvoll unterstützt.

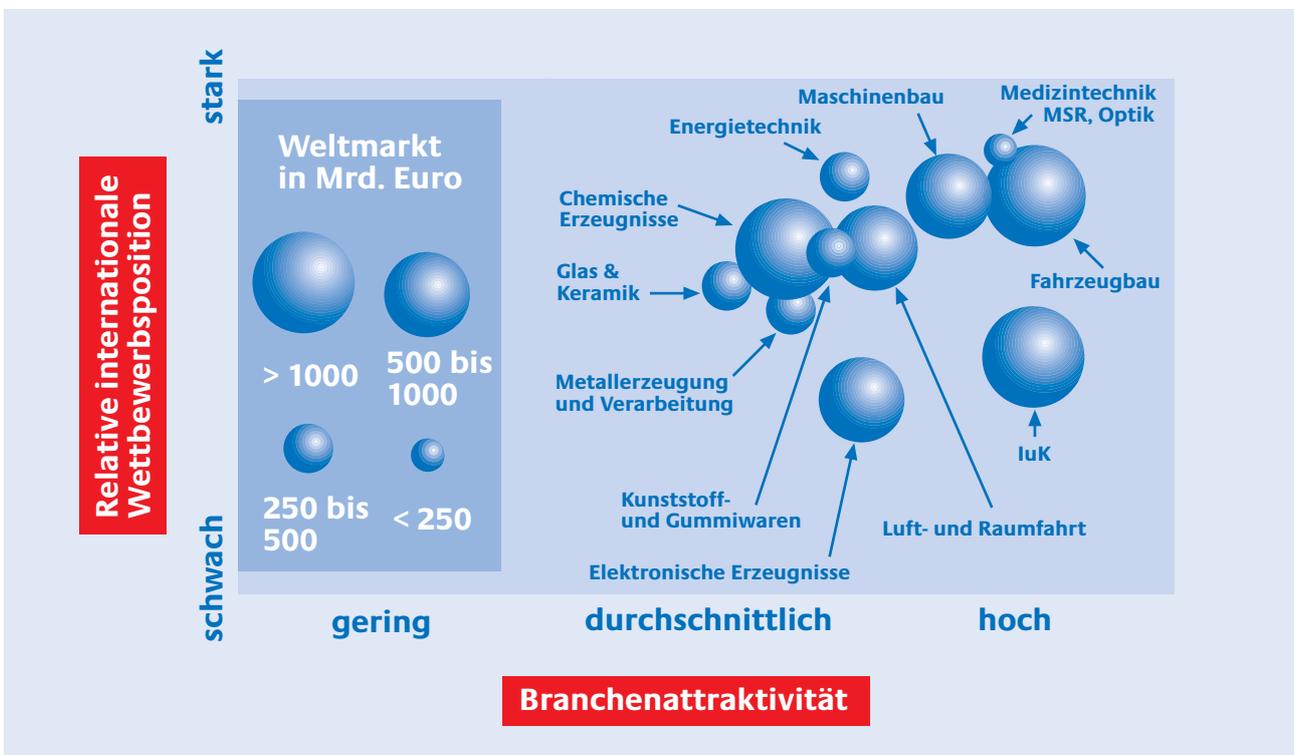
Die **thematische Ausrichtung** von MaTech war auch im Rückblick richtig gewählt, die Fokussierung der begrenzten Ressourcen auf ausgewählte

zentrale Technologiefelder schuf kritische Massen und sollte beibehalten bzw. gezielt gestärkt werden. MaTech hat die wichtigen Zielgruppen der Industrie gut erreicht. Insbesondere stieg im Laufe des Programms die KMU-Beteiligung deutlich an. Insofern hat MaTech eindeutig eine **impulsgebende Wirkung** erzielt; der Anspruch, risikoreiche anwendungsorientierte Projekte mit hohem Umsetzungspotenzial zu fördern, wurde voll erfüllt.

Die Analyse der **Förderwirkungen, gemessen an den Nachhaltigkeitskriterien** Ökonomie, Ökologie und Arbeitplatzeffekte, hat auf Projektebene zu eindeutig messbaren Ergebnissen geführt:

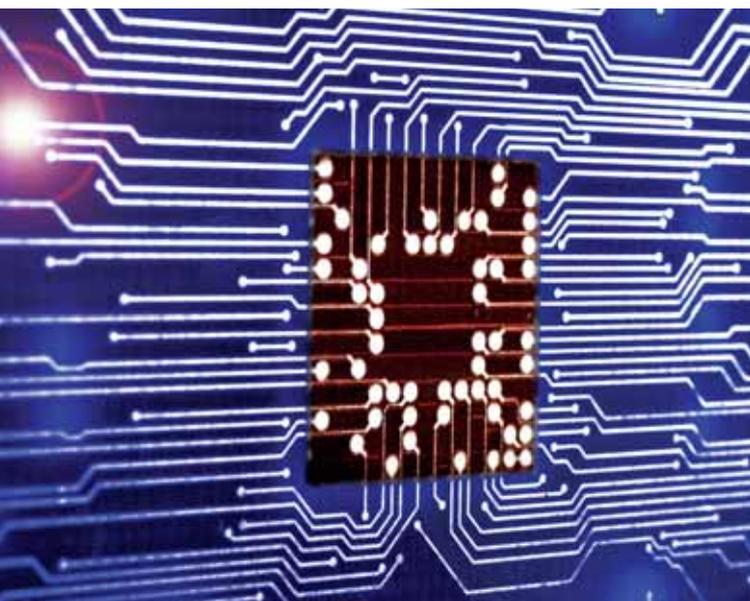
- Die MaTech-Projektförderung hat auf breiter Basis eine deutliche **Verbesserung der Technologieposition** der beteiligten FuE-Partner erzielt.
- Bei geförderten Unternehmen hat sich die Entwicklungszeit für die Umsetzung von FuE-Ergebnissen in marktwirtschaftliche Produkte erheblich verkürzt.
- Durch den technisch-wissenschaftlichen Projekterfolg konnten die geförderten Unternehmen **neue Produkte und Verfahren** kommerzialisieren und **neue Arbeitsplätze** schaffen.
- In 50 % der abgeschlossenen Verbundprojekte haben sich **nachhaltige Partnerschaften** etablieren können, die außerhalb der Förderlandschaft zu weiteren Forschungs- und Geschäftsbeziehungen führten. Dadurch wirkte MaTech als Keimzelle zur Etablierung von industriellen **Netzwerken**.
- Die Mehrzahl der Projekte trägt durch die Anwendung neuer Werkstoffe insbesondere im Verkehrs- und Energiebereich zur Ressourcenschonung, Verringerung von Emissionen und Schadstoffvermeidung und damit zur **Verbesserung der Umweltsituation** bei.

Relative Wettbewerbsposition deutscher Industriebranchen im internationalen Vergleich
Quelle: Evaluation des Förderprogramms MaTech, Arthur D. Little, 2003



Die im Rahmen von MaTech eingesetzten **Förderinstrumente** haben sich insgesamt bewährt:

- Insbesondere die Förderung von **Verbänden zwischen Wirtschaft und Wissenschaft** hat sich als wirksames Instrument erwiesen, um den „Technology-Push“ aus der Materialforschung mit dem „Market Pull“ zusammenzuführen. Dies hat wichtige Innovationsprozesse stimuliert, die zur anwendungsorientierten Umsetzung von Ergebnissen der Materialforschung erforderlich sind.
- Mit den 1998 eingeführten **themenspezifischen Bekanntmachungen** gibt es nun ein weiteres wirkungsvolles Instrument, das Potenziale in attraktiven neuen Forschungsfeldern gezielt aktiviert hat.
- Es wurden MaTech-Zentren etabliert, deren Ziel die **Vernetzung der Akteure** und die Stärkung der Schnittstelle von der Wissenschaft zur kommerziellen Anwendung war. Sie haben insbesondere zum Know-how-Transfer in die KMU beigetragen.
- Mit der Fördermaßnahme zur **Qualifizierung von NachwuchswissenschaftlerInnen** – Hot Topics – konnten sich junge WissenschaftlerInnen mit hohem Potenzial unter industrieller Begleitung mit explorativen Werkstoffthemen etablieren.



Ergebnisse der Potenzialanalyse

Ausgehend von einer Analyse der werkstoffseitigen, technologischen Markt- und Wettbewerbssituation wurden in der Potenzialanalyse Zukunftsperspektiven innovativer Werkstoffe im Kontext ihrer vielfältigen Anwendungsbereiche herausgearbeitet. Das Ergebnis zeigt, dass innovative Materialien auch in Zukunft wichtige Schlüsselfaktoren für Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit in technologieorientierten Industriefeldern sind. Neue Werkstoffentwicklungen haben insbesondere eine hohe Hebelwirkung in den exportstarken Branchen Automobilindustrie, Maschinenbau, Elektrotechnik und in der chemischen Industrie. Dabei ist eine konstruktive Interaktion zwischen dem industriellen Hersteller und dem Anwender die wichtigste Quelle für neue Produkte und Dienstleistungen.

Die Studie stellt heraus, dass vor dem Hintergrund des industriellen Strukturwandels mit sich fortlaufend ändernden Wertschöpfungsketten und Innovationsprozessen eine Material- und Bearbeitungskompetenz allein immer weniger ausreicht, um sich am Markt durchzusetzen. Erfolgsfaktoren sind vielmehr ein wachsendes Maß an interdisziplinärer Systemkompetenz und die Fähigkeit, anwenderspezifische Problemlösungen anzubieten. Dazu dient der Ausbau von Vernetzungen mit frühzeitiger Einbindung von Anwendern in den Entwicklungsprozess. Branchenübergreifend ist die Verdrängung monofunktionaler Bauteile durch multifunktionale Bauelemente. Dadurch sind Werkstoffhersteller gezwungen, sich zunehmend in die spezifischen Systemanforderungen ihrer Kunden hineinzudenken. Dieses Denken in Systemen erfordert von den beteiligten Forschungspartnern ein hohes Maß an Interdisziplinarität.

Im Rahmen der Evaluationsstudie machte ein **internationaler Vergleich** deutlich, dass Deutschland in den wichtigen Technologie- und Anwendungsfeldern weitgehend gut – wenn auch in der Regel nicht global führend – positioniert ist. Das deutsche Kompetenzportfolio und die materialrelevanten Strukturen sind insgesamt international konkurrenzfähig und leisten Beiträge zur Sicherung der

Wettbewerbsfähigkeit der einschlägigen Industrie. Diese heutigen Stärken bedürfen aber einer kontinuierlichen Weiterentwicklung, vor allem dort, wo eine gute Technologieposition mit einer hohen Branchenattraktivität korrespondiert.

Handlungsempfehlungen

Die anstehenden großen Innovationsthemen der Materialforschung und die erforderliche weitere Verbesserung der Effizienz des Transfers in die Anwendung sowie die Sicherung der erforderlichen Umsetzungskompetenz bedürfen weiterer Stimulation und Unterstützung. Darin unterscheidet sich Deutschland nicht von anderen Industrienationen. Die Förderung durch das BMBF, wie sie bisher im MaTech-Programm erfolgte, ist hierfür ein geeignetes Mittel. Weder andere deutsche Förderkonzepte noch internationale Förderangebote decken diese speziellen, für die Schaffung nachhaltiger Effekte aber entscheidenden Aspekte gleichwertig ab. Insbesondere der integrative Aspekt der Förderung mit dem Ziel, die Durchgängigkeit der Innovationskette von der Grundlagenforschung bis zur Umsetzung zu sichern, wird durch keine der anderen, bereits bestehenden Förderungen und fördernden Institutionen in dieser oder vergleichbarer Form geleistet. Er ist somit ein Alleinstellungsmerkmal der Materialforschungsförderung. In der Studie wird daher empfohlen, in einem neuen BMBF-Förderkonzept die Kontinuität der Entwicklungen, die MaTech angestoßen hat, zu sichern und die Weiterentwicklung von materialgetriebenen Innovationsketten und ihre Umsetzung in die Anwendung zu stimulieren.

Die zukünftigen Förderschwerpunkte sollen sich aus **aktuellen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedürfnissituationen** herausbilden, wobei der **Anwendernutzen und die Attraktivität der Anwendungsmärkte** im Vordergrund stehen und weniger die Materialklassen oder -eigenschaften. Außerdem soll eine stärkere Flexibilisierung von Schwerpunkten und Programmführung der dynamischen Entwicklung von Technologien und Märkten Rechnung tragen.

Aus der Sicht des Jahres 2003 bieten sich hierfür Themengebiete wie Mobilität, Infrastrukturtechnologien (IT, Energie), ausgewählte Bereiche des Maschinenbaus, der Feinmechanik, der Mess-, Steuer- und Regeltechnik sowie der optischen Technologien und des Gesundheitswesens (Medizintechnik etc.) an. Daneben sollten auch materialorientierte integrative Technologiefelder mit hohem Innovationspotenzial wie die Nanotechnologie berücksichtigt werden sowie Querschnittsfelder mit grundsätzlicher Bedeutung für die Umsetzbarkeit von Werkstoffinnovationen (z. B. Herstell- und Verarbeitungsverfahren). Das in MaTech genutzte Portfolio an Förderinstrumenten hat sich grundsätzlich bewährt und soll daher im Kern weitergeführt bzw. optimiert werden. Ausgebaut werden sollen die Sichtbarkeit der Förderung sowie die Einbindung weiterer KMU in den Innovationsprozess.



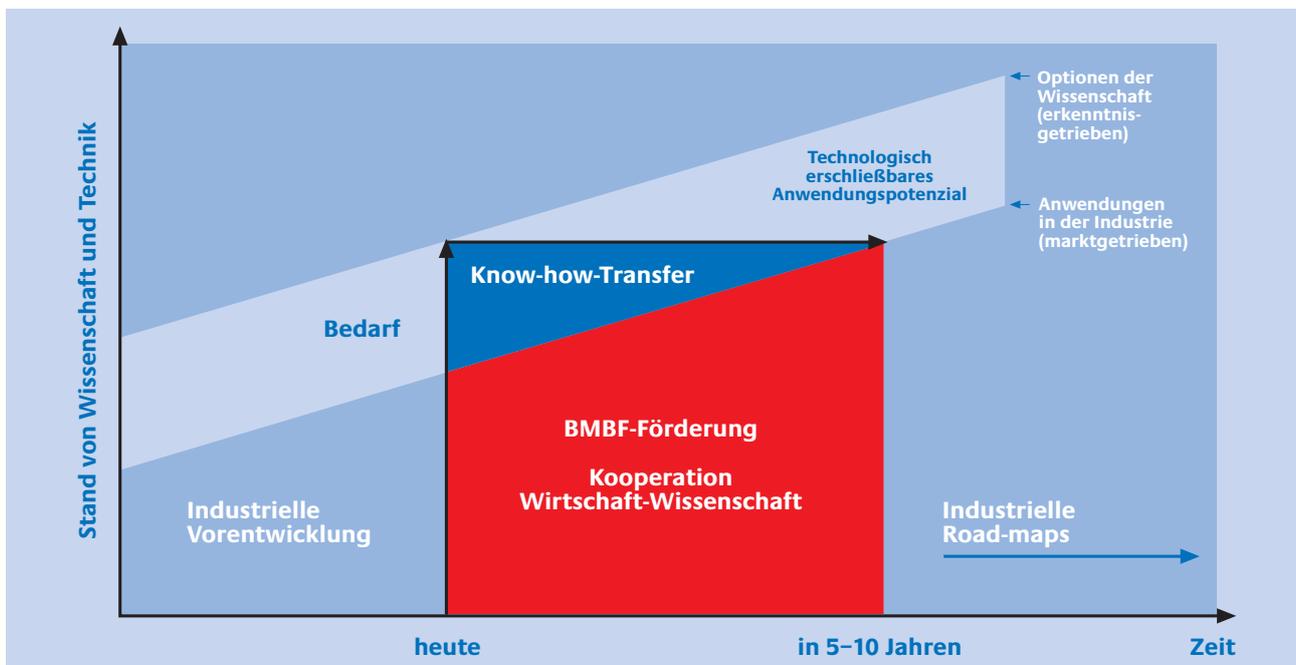
2. Förderpolitischer Handlungsbedarf und Programmziele

Mit Blick auf die international hohe technologische Bedeutung neuer Materialien fördert das BMBF seit den 70er Jahren in unterschiedlichen Programmen und Initiativen bestimmte Gebiete der Werkstofftechnologie und ausgewählte Schwerpunkte der Chemietechnik. Ende der 90er Jahre ist die Nanotechnologie hinzugekommen. Insbesondere im Programm „MaTech – Neue Materialien für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts“ sind anwendungsorientierte Verbundprojekte zwischen Wirtschaft und Wissenschaft gefördert worden, die die Wettbewerbsfähigkeit und die Technologieposition deutscher Firmen nachhaltig verbessert haben und einen Qualifizierungsschub für kleine und mittelständische Firmen sowie auch für den wissenschaftlichen Nachwuchs initiieren konnten (siehe: Studie zur Evaluierung des Programms MaTech, Arthur D. Little, 2003).

Förderung der FuE-Kooperation: vom Erkenntnisgewinn in der Wissenschaft zur Anwendung in der Industrie
 Quelle: Industriekreis Produktionstechnologien, PTJ-NMT

Das vorliegende Förderkonzept will die bisherigen guten Erfahrungen mit der anwendungsorientierten Ausrichtung der Projekte, den geschaffenen Verbundstrukturen zwischen Wirtschaft und Wissenschaft – auch über den Förderzeitraum hinaus – sowie der Integration von KMU in den Innovationsprozess nutzen. Darüber hinaus soll die Multidisziplinarität gesteigert werden, indem man die für eine erfolgreiche Werkstoffentwicklung relevanten Wissenschaftsdisziplinen und Technologien möglichst auf Projektebene miteinander vernetzt.

Das vor diesem Hintergrund entstandene Förderprogramm „WING – Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft“ ist in intensiver Zusammenarbeit mit Werkstoffherstellern und -anwendern aus Großunternehmen der Industrie, Vertretern kleiner und mittelständischer Unternehmen sowie Experten aller Wissenschaftsorganisationen, der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde entwickelt worden.



Ausgehend von den drei Leitzielen von WING:

- **Stärkung der Innovationskraft der Unternehmen,**
- **Berücksichtigung des gesellschaftlichen Bedarfs,**
- **Nutzung von Forschung und Technologie für nachhaltige Entwicklungen,**

sollen in einem ganzheitlichen Ansatz werkstoffbasierte Produktinnovationen generiert und gleichzeitig dem gesellschaftlichen Bedarf an aktuellen Werkstoffentwicklungen sowie Nachhaltigkeitsaspekten Rechnung getragen werden. In seinen Leitzielen orientiert sich WING damit an den international abgestimmten Grundpfeilern der Nachhaltigkeit: Ökonomie – Ökologie – Gesellschaft. Konkret spiegeln sich diese Forderungen in den spezifischen Förderaktivitäten wider, die auf entsprechende Themen wie Gesundheit, Mobilität, Information/Kommunikation und Nachhaltigkeit fokussieren.

Die Leitziele ergänzen sich gegenseitig; insbesondere soll das Prinzip der Nachhaltigkeit ökonomische, ökologische und soziale Verbesserungen in unserer Industriegesellschaft und Umwelt bewirken. Damit wird von der förderpolitischen Seite die Basis für eine höhere Wettbewerbsfähigkeit der Industrie, für ressourcen- und umweltschonende Technologien und für die Schaffung bzw. den Erhalt hochwertiger Arbeitsplätze in Deutschland gelegt.

Auf Projektebene verfolgt das Rahmenprogramm WING die folgenden Ziele, die als forschungspolitische Leitlinien fungieren:

- Ausschöpfung des Innovationspotenzials der Werkstoffe und ihrer Technologien im Hinblick auf die **Entwicklung neuer Produkte und Verfahren mit großem gesellschaftlichem Nutzen** (z. B. intelligente Materialien)
- Beschleunigung des Innovationsprozesses in der Industrie durch die **Schaffung effizienter Kooperationsstrukturen zwischen Wirtschaft und Wissenschaft** unter verstärkter Einbindung von KMU (z. B. durch Aufbau geeigneter Infrastrukturen, Verbundvorhaben),
- Beiträge zur **Lösung von gesellschaftsrelevanten**

Problemen, insbesondere aufgrund demografischer Entwicklungen in unserer Gesellschaft (z. B. Kostenexplosion im Gesundheitssystem),

- **Verzahnung von FuE mit Bildungs-/Ausbildungsinitiativen**, u. a. durch Förderung des fachspezifischen Nachwuchses und Unterstützung von Aus- und Weiterbildungsaktivitäten in Industrie und Wissenschaft,
- Beitrag zur Schaffung **eines europäischen Forschungsraumes und Vertiefung der Internationalisierung**, vor allem durch stärkere Beteiligung deutscher FuE-Akteure an den Rahmenprogrammen der EU, aber auch der Ausbau der bilateralen Zusammenarbeit mit Ländern wie China, Korea, Brasilien und Israel.

Der inhaltliche Rahmen von WING wird bewusst offen gehalten und soll durch Schwerpunktsetzungen im Laufe des Programms gestaltet werden. Es wird allerdings in den Projekten darauf ankommen, durch die **Mobilisierung privaten Kapitals** innovative werkstoffwissenschaftliche Entwicklungen mit möglichst großer Hebelwirkung für den Innovationsprozess auszulösen.

2.1. Stärkung der Innovationskraft der Unternehmen

Ein wesentliches Innovationshemmnis bei der Umsetzung von FuE-Ergebnissen in wettbewerbsfähige Produkte oder Verfahren der Industrie sind die hohen Innovationskosten und damit verbunden das hohe wirtschaftliche Risiko einer werkstoffbasierten Neuentwicklung. Hinzu kamen als Trends Ende der 90er Jahre der Mangel an Fachpersonal (Techniker und Wissenschaftler) sowie z. T. gravierende firmenspezifische Umstrukturierungen. Die dadurch bedingte personelle Fluktuation verhinderte häufig, dass das meist personengebundene Know-how in vollem Umfang in Produktinnovationen einfließen konnte. Vor diesem Hintergrund und **um zusätzliche Wachstumskräfte in der Industrie zu mobilisieren, richtet das BMBF die Forschungsförderung auf dem Gebiet der Werkstoffentwicklung konsequent auf Innovationen in den Branchen Maschinenbau, Fahrzeugbau, chemische**

Industrie, Elektrotechnik/Elektronik und Information/Kommunikation aus.

Angesichts der guten Erfahrungen mit der technisch-wirtschaftlichen Umsetzung von FuE im abgelaufenen Programm MaTech wird im Programm WING die **Orientierung der Werkstoffprojekte auf Anwendungsfelder mit hoher industrieller Relevanz weiter verstärkt**. Dies gilt auch für das Förderinstrumentarium der industriellen Verbundforschung, bei dem mehrere Firmen und Institute arbeitsteilig an einem gemeinsamen Ziel zusammenarbeiten. Da die Funktionseigenschaften von Materialien allein noch kein hinreichendes Kriterium für den Erfolg im praktischen Einsatz sind, kommt dem Denken in Systemen bereits in der Vorbereitung von FuE-Projekten eine immer höhere Be-

*Verbesserter Metallkatalysator: Eine 25 µm dünne Metallträgerfolie aus einer neuen Stahllegierung (AluChrom 7AlYHf) ermöglicht das schnellere Erreichen der Betriebstemperatur durch elektrisches Vorheizen und dadurch bessere Abgaswerte (EURO-Norm 4).
Quelle: Emitec GmbH*

deutung zu. Es umfasst ganzheitlich alle Aspekte wie Konstruktion, Verarbeitung, Anwendung und stofflichen Lebenszyklus. Um dieses Vorgehen von Anfang an in den Projekten abzubilden, sollte der industrielle Anwender möglichst als Federführer im Verbund agieren. Mit diesen fördertechnischen Maßnahmen wird die meist bei den Herstellern und Zulieferern vorhandene Material- und Verfahrenskompetenz möglichst effizient und zum Nutzen aller Projektpartner in eine System- und Marktkompetenz transferiert.

2.2. Berücksichtigung des gesellschaftlichen Bedarfs und Nutzung von Forschung und Technologie für nachhaltige Entwicklungen

Ergänzend zur Stärkung der Innovationskraft der Unternehmen verfolgt das Förderprogramm WING das Ziel, durch werkstoffliche Innovationen auch einen **Beitrag zur Zukunftsfähigkeit der Gesellschaft und für das Leben der Menschen** zu leisten. Dies betrifft insbesondere die Gebiete **Mobilität,**

Gesundheit, umweltverträgliche Energieversorgung sowie Information und Kommunikation. Ein integraler Bestandteil von **Verkehrs- und Energietechnologien** sind dabei auch Fragen zur öffentlich-technischen Sicherheit. Diese Gebiete weisen ebenfalls eine große industrielle Relevanz mit hoher technologischer Attraktivität und immensem Potenzial für ressourcen- und umweltschonende Techniken auf. Deshalb überlappen sich die Leitziele des **industriellen und gesellschaftlichen Bedarfs** mit den **Beiträgen zur Nachhaltigkeit** in vielen Aspekten. Die folgenden drei Beispiele aus ganz unterschiedlichen Anwendungsfeldern verdeutlichen den Bedarf des Menschen bzw. der Gesellschaft an Materialien mit spezifischen



Eigenschaftsprofilen und zeigen gleichzeitig Aspekte der Nachhaltigkeit auf.

• **Mobilität – Fahrzeugbau**

Die Anforderungen an einen Werkstoff im Automobilbau – geringes Gewicht bei hoher Festigkeit, Korrosions- und Alterungsbeständigkeit, thermische Beständigkeit, Umweltverträglichkeit, Reparaturfreundlichkeit, Wirtschaftlichkeit, Verarbeitbarkeit – beinhalten oft Zielkonflikte. Beispielsweise sollen Fahrzeuge möglichst leicht sein, gleichzeitig aber eine hohe aktive und passive Sicherheit aufweisen. Neben konstruktiven Maßnahmen bietet hier vor allem die Auswahl optimaler Werkstoffe günstige Lösungsansätze. Ein anschauliches – selbstverständlich nicht förderrelevantes – Beispiel war der spektakuläre Crash von Michael Schumacher im Jahr 1999, als sein Fahrzeug mit über 200 km/h in die Streckenbegrenzung raste. In einem klassischen Metallfahrzeug hätte er dies nicht überlebt. Durch die ausgeklügelte CFK-Bauweise (CFK steht für Kohlefaserverbundwerkstoff) blieb die Fahrzelle jedoch nahezu unversehrt.

Auch bei der weiteren Verringerung von Emissionen in der Verkehrstechnik wird man mit Werkstoffinnovationen rechnen können: etwa durch noch effektivere Katalysatoren mit schnellem Erreichen der Betriebstemperatur, die durch langzeitstabile, vorheizbare Trägermaterialien mit entsprechenden Schichtsystemen realisierbar werden.

• **Informations- und Kommunikationstechnik**

Im Oktober 2000 wurde der Nobelpreis für Chemie für bahnbrechende Arbeiten auf dem Gebiet der Entwicklung elektrisch leitfähiger organischer Polymere vergeben. Die systematische und gezielte Dotierung geeigneter Basispolymere mit Fremdatomen hat eine reale Grundlage geschaffen, diese viel versprechenden Materialien in den nächsten Jahren technisch zum Einsatz zu bringen. Die Anwendungsmöglichkeiten reichen von der Antistatikbeschichtung über organische Transistoren oder Kathodenmaterial in Kondensatoren

bis hin zu organischen Leuchtdioden. Diese bieten sich an zur Entwicklung energiearmer, aber dennoch sehr leuchtkräftiger Monochrom- und Farbd Displays für Handys oder Computerbildschirme.

• **Gesundheit – Medizintechnik**

Die Zunahme des Durchschnittsalters der Bevölkerung führt zu einem wachsenden Bedarf an funktionsgerechten und bioverträglichen Materialien für temporäre oder dauerhafte Implantate, für Zahnersatz sowie zur Unterstützung von Organfunktionen. Ein Beispiel sind Werkstoffe aus Titanlegierungen mit funktionalisierten Oberflächen für lasttragende Implantate oder als Knochenersatz. Neue Polymermembranen werden Dialyse und Blutreinigung effektiver machen und damit erkrankte Organe wie Niere und Leber unterstützen. Biologische Klebesysteme können je nach Anforderung feste und flexible Gewebeverbindungen schaffen und die Gewebeneubildung fördern. Auch der Einsatz resorbierbarer Materialien wird weiter zunehmen. Sie werden besser als bisher an das jeweilige Körpergewebe angepasst sein, so dass Zweitoperationen zur Erneuerung von Implantaten entfallen. Darüber hinaus können regenerative Materialien den Aufbau körpereigenen Gewebes z. B. im Bereich des Knochen- und Zahnersatzes aktiv unterstützen. Neue Werkstoffe in der Medizintechnik werden nicht nur den Patientennutzen steigern, sondern auch zur Kostendämpfung im Gesundheitswesen beitragen.

• **Umweltgerechte Energieversorgung**

Die Erhöhung des Wirkungsgrades bei der Stromerzeugung ist ein Schlüssel zur effizienteren Ressourcennutzung und Verringerung der Umweltbelastung. Dabei sind gerade im Werkstoffbereich durch die Entwicklung hochfester und hochtemperaturbeständiger Materialien und Schutzschichten erhebliche Fortschritte erzielt worden. Sie lassen den Nutzen der Materialforschung für eine nachhaltige Entwicklung unmittelbar erkennen:

Moderne, fossil befeuerte Kombi-Kraftwerke haben dank einkristalliner Turbinenschaufeln aus Nickel-Basis-Superlegierungen einen Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung von mittlerweile 60 % (Für die Erzeugung von 1 kWh Strom benötigte man vor 100 Jahren 3,7 kg Steinkohle, vor 50 Jahren 0,68 kg, heute nur noch 0,3 kg.). Auch der Ausbau regenerativer Energien ist auf Effizienzsteigerung im Werkstoffbereich angewiesen bzw. nutzt Spin-off-Entwicklungen aus der Materialforschung. Dies gilt für die Photovoltaik ebenso wie für die Windenergie, wo Rotorblätter heute aus glas- und kohlefaserverstärktem Kunststoff bestehen. Ebenso sind stationäre und mobile Brennstoffzellen auf werkstoffliche und chemietechnische Innovationen zur Steigerung von Energieeffizienz, Leistungsdichte und Langzeitstabilität angewiesen, damit sie den marktwirtschaftlichen Durchbruch schaffen.

Die Beispiele zeigen, dass neue Werkstoffentwicklungen ein hohes Potenzial haben für eine nachhaltige Entwicklung im Sinne ressourcen- und umweltschonender Technologien. Das Leitbild der

Laufschaufel einer Industriegasturbine
Quelle: Siemens Power Generation



nachhaltigen Entwicklung wurde auf der Internationalen Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro als gemeinsames Ziel der internationalen Völkergemeinschaft verabschiedet. Die dort formulierte Agenda 21 definiert in ihrer Präambel nachhaltige Entwicklung als „globale Partnerschaft für eine ökonomisch machbare, sozial gerechte, ökologisch gesunde Entwicklung“. Das bedeutet: Heute muss so mit der Umwelt und den Ressourcen umgegangen werden, dass auch für nachfolgende Generationen eine hohe Umwelt- und Lebensqualität erreicht wird. Wendet man das Leitbild der Nachhaltigkeit auf die Materialforschung an, sind in Zukunft neben der ökonomischen Dimension folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Beitrag der Werkstoffe zur Umweltentlastung durch spezifische Anwendungen, insbesondere in der Verkehrs- und Energietechnik,
- Entwicklung effizienter Produkte und Produktionsprozesse mit geringem Energie- und Materialverbrauch,
- Minimierung von Rohstoffeinsatz und Emissionen entlang der gesamten Produktkette,
- Bevorzugung geschlossener Kreisläufe: Betrachtung des gesamten Lebenszyklus, von der Herstellung über die Verarbeitungstufen und Anwendungsbereiche bis hin zu Entsorgung/ Recycling (Life Cycle Assessment).

Neue Werkstoffe können also wirksam zur Umweltentlastung beitragen. Dabei spielt die werkstoffherstellende und -verarbeitende Industrie eine Schlüsselrolle, denn ihre Produkte und Leistungen sind – wie oben beispielhaft dargestellt – unverzichtbar geworden, wenn die Bedürfnisse der Gesellschaft umweltgerecht erfüllt werden sollen. Das Spektrum reicht dabei vom privaten Umfeld der Bürger – Gesundheit, Mobilität, Wohnen, Freizeit – über die Arbeitsplatzgestaltung bis hin zur industriellen Produktion und zur Energieversorgung. Die werkstoffbasierte Industrie soll daher im Rahmen von WING in ihrem Bestreben nach nachhaltiger Entwicklung für wichtige Wirtschaftszweige, wie z. B. Fahrzeugbau, Energiewirtschaft, Maschinenbau und Umwelttechnik wirksam unterstützt werden.

3. Vernetzung mit anderen Förderaktivitäten

Werkstoffe sind auf vielen technologischen Gebieten die Grundlage für Innovationen und üben somit eine ausgeprägte Querschnittsfunktion aus. Hieraus ergeben sich zahlreiche Vernetzungen mit anderen Handlungsfeldern, die programmatisch vom BMBF gefördert werden, etwa Kommunikationstechnologie, Mobilität und Verkehr, Umweltforschung, Gesundheitsforschung und Medizintechnik, Raumfahrt, optische Technologien und Biowissenschaften. Die Werkstoffforschung unterstützt die Ziele dieser Themenbereiche mit spezifischen Werkstoffentwicklungen oder werkstoffrelevanten Projekten.

Produktionssysteme und -technologien

Das Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ fördert vorwettbewerbliche kooperative Forschungsvorhaben zur Stärkung der Produktion in Deutschland. Produzierende Unternehmen sollen besser in die Lage versetzt werden, auf Veränderungen rasch zu reagieren, den Strukturwandel aktiv mitzugestalten und ihre Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig auszubauen und zu sichern.

Materialeigenschaften wie beispielsweise Härte, Korrosionsbeständigkeit, Duktilität, Temperaturverhalten und optisches Verhalten werden ganz wesentlich von der Art der Verarbeitung beeinflusst, so dass Produktionssysteme für diese spezifischen Eigenschaften ausgelegt und optimiert werden müssen. Die Neuentwicklung von Materialien führt somit häufig zu veränderten oder neuen Herstellungsprozessen, die kostengünstigere, umweltfreundlichere und bedarfsgerechtere Produkte erzeugen. Die Werkstoffforschung unterstützt in diesem Bereich z. B. die Entwicklung von Hochleistungsprozessen zum Ur- und Umformen von hochfesten Bauteilen.

Mikrosystemtechnik

In der Mikrosystemtechnik (MST) werden eine Vielzahl von Materialien, Komponenten und Technologien eingesetzt, mit denen elektronische und nicht

elektronische Funktionen realisiert werden können. Das Ziel des Förderkonzeptes „Mikrosystemtechnik 2000+“ besteht darin, diese Funktionen in intelligenten miniaturisierten Gesamtsystemen zu verknüpfen und in die industrielle Anwendung insbesondere bei KMU zu bringen. Das Anwendungspotenzial der MST ist breit gefächert und reicht von der Medizintechnik und Biotechnologie über die Lebensmitteltechnologie und Umwelttechnik bis in den Automobilbau und in diverse Prozesssteuerungen im Maschinen- und Anlagenbau sowie in Anwendungen in der Fertigungstechnik.

Die MST unterstützt beispielsweise die Entwicklung effizienter Prozessführungen in der Chemie auf den Gebieten der Mikroreaktionstechnik und der kombinatorischen Chemie. Weitere Anknüpfungsthemen zur Materialforschung bestehen insbesondere auf den Gebieten der intelligenten Werkstoffsysteme und Bearbeitungswerkzeuge, der Piezo-Materialien, der Sensorik und Aktorik sowie bei multifunktionalen Implantaten in der Medizintechnik. Fragen der Materialforschung spielen auch bei MST-Anwendun-

Schleuderguss von Titanaluminium in eine rotierende Kokille
Quelle: ALD Vacuum Technologies GmbH



gen in der Mikrochirurgie und in der medizinischen Diagnostik eine wichtige Rolle (Biokompatibilität).

Nanoelektronik

Die Mikroelektronik ist durch intensive Forschungsanstrengungen in den Bereich der Nanotechnologie vorgedrungen. Die Forschungsförderung wird daher unter dem Titel Nanoelektronik und -systeme konzentriert und ist Bestandteil des BMBF-Programms „IT-Forschung 2006“. Förderthemen mit Relevanz für die Materialforschung konzentrieren sich auf zwei Säulen in denen Vorhaben in Form von industriellen anwendungsorientierten Verbundprojekten gefördert werden:

1. Technologien und Geräte für die Elektronikfertigung

Der Schwerpunkt der Förderung in diesem Bereich sind Lithographieverfahren mit einer Strukturauflösung kleiner 100 nm sowie bei innovativen Material-, Schicht- und Prozesstechnologien für die Nanoelektronik.

2. Neuartige Schaltungen und Bauelemente

Zentrales Förderthema ist die weitere Evolution der Silizium-Nanoelektronik mit Schwerpunkten bei Datenspeichern, Verbindungstechniken, Si-Hochfrequenzelektronik, Si-Leistungselektronik, Hochintegration, Logik-Bauelementen sowie die CMOS-Technologie ergänzende Technologien wie z. B. Magnetoelektronik mit den Unterthemen: Sensorik, MRAM und Spintronik.

Der Bezug zur Materialforschung besteht darin, dass die weitere CMOS-Evolution nicht mehr mit dem Materialsystem Si/SiO₂ allein gewährleistet ist. Die für eine wirtschaftliche Verwertbarkeit notwendige exponentielle Erhöhung der Leistungsfähigkeit bei gleichzeitiger exponentieller Verringerung der Kosten erfordert den Einsatz neuer Materialien speziell Dielektrika als Ersatz für das bisherige SiO₂. Ebenso untersucht werden magnetische Materialien, die über die Magnetoelektronik die Si-Elektronik funktionell ergänzen. Einen immer wichtiger werdenden materialspezifischen Aspekt für die Zukunft stellt das Chip-Packaging dar, das über neuartige Materialien

zur Funktionalität des Chips selbst beitragen wird. Einen gänzlich neuen Weg weisen Funktionspolymere, die als Bauelemente für integrierte Schaltkreise eingesetzt werden. Die Vorteile dieser Materialien liegen in der kostengünstigen Herstellung und ihrer breiten Anwendbarkeit. Auch im Bereich der optischen Lithographie erfordern die für immer kleiner werdende Strukturen notwendigen immer kürzeren Wellenlängen neue Materialsysteme für Lichtquellen, Optiken und Photomasken.

Kommunikationstechnologie

Im Förderschwerpunkt Kommunikationstechnologie des BMBF ist eine Vielzahl unterschiedlicher Forschungsgebiete zusammengefasst. Das Spektrum reicht dabei von neuartigen Materialien für elektronische, optoelektronische und optische Bauelemente bis hin zu Systemen der Informations- und Nachrichtentechnik. Die Entwicklung von neuen Komponenten und Systemkonzepten ist auch Bestandteil des BMBF-Programms „IT-Forschung 2006“. Beispiele für Technologien, die auf der Entwicklung neuer Materialien beruhen, sind Leuchtdioden für verschiedene Farben, insbesondere Rot, Grün, Blau und Ultraviolett. Blaue Laserdioden werden künftig wichtig sein bei der Speicherung von Informationen auf DVD und in der Drucktechnik. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist der Bereich der Displaytechnik. Im Mittelpunkt stehen hier die FuE-Arbeiten zu organischen lichtemittierenden Displays (OLED).

Umweltforschung

Das Programm „Forschung für die Umwelt“ will Innovationen in Wirtschaft und Gesellschaft anstoßen, die eine zukunftssträchtige Entwicklung und Gestaltung der Umwelt ermöglichen. Auf der Basis von Ursachen- und Wirkungsforschung sollen intelligente Konzepte und Lösungen zur nachhaltigen Umweltnutzung entstehen. Dabei soll die gesamte Bandbreite der Entlastungsmöglichkeiten durch neues Wissen und Innovation genutzt werden, Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft sollen mitarbeiten. Das Programm umfasst u. a. die Schwerpunkte Ökologische Forschung, Wirtschaftsbezogene Nachhaltigkeit und

Integrierte Umwelttechnik. Die Programmziele der Umweltforschung ergänzen sich ideal mit denen von WING, denn Materialien haben ein inhärentes Potenzial zu Ressourcenschonung und Verringerung von Umweltbelastungen. Leichtere Materialien im Fahrzeug- und Flugzeugbau senken den Kraftstoffverbrauch und schonen somit fossile Energieträger. Korrosionsbeständige Materialien oder Oberflächenbeschichtungen erhöhen die Lebensdauer von Produkten. Hochverschleißfeste, leichte Keramiken verlängern im Maschinenbau die Standzeiten und reduzieren den Aufwand an Schmiermitteln. Hoch entwickelte Dämmmaterialien senken Energieverluste. Aber auch traditionelle Materialien wie Naturfasern können durch Anwendung innovativer Verfahren z. B. erdölbasierte Kunstfasern ersetzen, mit teilweise sogar besseren Eigenschaften.

Klimaschutz

Klimaschutz umfasst alle Aktivitäten, die negative Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf das Klima vermeiden oder vermindern. Das Programm „Forschung zum Klimaschutz“ beschreibt nur einen Teil aller in Deutschland unternommenen Forschungsanstrengungen zu diesem Thema. Gleichwohl soll die programmatische Zusammenfassung eine Plattform bieten, die eine engere Abstimmung aller Forschungs- und Entwicklungsansätze in diesem Bereich ermöglicht. Klimaschutzforschung stellt eine Querschnittsaufgabe dar, welche die lebensnotwendigen Ressourcen Luft, Wasser und Boden umfasst und oft ähnliche Ziele wie die Umweltforschung verfolgt. Hier gilt für die Materialforschung die gleiche Verknüpfung wie bei der Umweltforschung. Innovative Werkstoffe bieten ein erhebliches Potenzial, beispielsweise CO₂- und Schadstoffemissionen zu senken.

Gesundheitsforschung, Medizintechnik

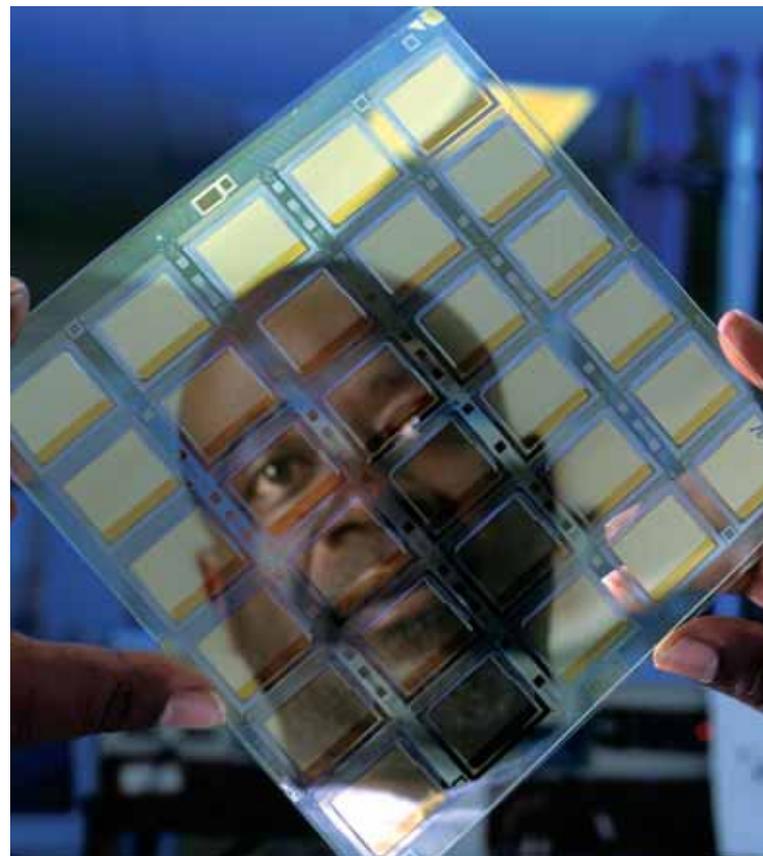
Das Programm „Gesundheitsforschung: Forschung für den Menschen“ der Bundesregierung fördert die Erforschung von Ursachen und Entstehungsprozessen bei Krankheiten. Daraus sollen effektive Präventions- und Therapieverfahren hervorgehen. Im Mittelpunkt stehen vor allem schwerwiegende

Krankheitsbilder, die eine große Belastung für betroffene Patienten darstellen und erhebliche gesundheitspolitische Bedeutung haben, etwa Krebs, Infektionskrankheiten oder neurologische Erkrankungen. Ziel ist eine Verbesserung der Qualität der Versorgung und die effektivere Nutzung und Verteilung der Ressourcen im Gesundheitswesen.

Werkstoffforschung, Chemie und Nanotechnologie können hier sinnvoll ergänzende und neue Lösungsansätze beisteuern: Durch die steigende Lebenserwartung der Menschen wächst der Bedarf an langlebigen und besser verträglichen Materialien für die nachhaltige Prävention und Therapie, z. B. als dauerhafte oder temporäre Implantate, Knochen- oder Gewebeersatz, möglichst mit regenerativen Eigenschaften sowie Trägermaterialien für das

[Organische Leuchtdioden machen die Herstellung von ultradünnen lumineszierenden Plastikfolien möglich.](#)

Quelle: Siemens AG

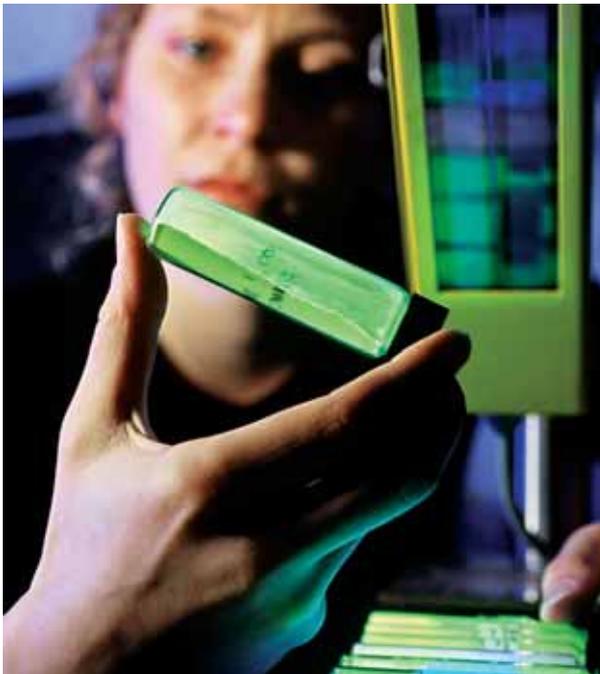


Tissue Engineering (Geweberekonstruktion). Wegweisende interdisziplinäre Forschungsaufgaben werden in gemeinsamen Initiativen mit anderen Förderprogrammen erfolgreich umgesetzt. Dazu gehört beispielsweise die Maßnahme „Kompetenzzentren in der Medizintechnik“ unter Federführung der Gesundheitsforschung mit Beteiligung von Materialforschung, Mikrosystemtechnik und optischen Technologien. Ähnliches ist auch für die Leitvision „Sanftes Operieren mit innovativer Technik SOMIT“ geplant. Aktivitäten zur Koordinierung solcher gemeinsamen Initiativen sind weiterhin vorgesehen.

Biowissenschaften

Die Biotechnologie entwickelt sich in viele forschungsorientierte Felder hinein und bildet zahlreiche Facetten mit Bezug zur Medizin, zur Chemie, zur Physik, zur Informationstechnologie und zu den Materialwissenschaften. Das Rahmenprogramm „Biotechnologie – Chancen nutzen und gestalten“ trägt dem Rechnung. Der Beitrag der Materialforschung in den Biowissenschaften ist sehr vielfältig. Beispiele sind nanoskalige laterale Strukturierungs-

[Auf der Suche nach neuen Materialien für Leuchtdioden \(LED\)](#)
Quelle: Siemens AG



techniken, Techniken zur Herstellung nanometer dicker funktionaler Schichten unter Nutzung biologischer Adaptions-, Reparatur- und Selbstorganisationsfähigkeiten, multifunktionale künstliche Zellen als Transporter, Sensoren und Nanoreaktoren oder auch die regioselektive Ausrüstung von Hohlfasermembranen mit nanoskalierten Funktionsschichten.

Mobilität und Verkehr

Gefördert werden im Programm „Mobilität und Verkehr“ FuE-Vorhaben sowie Demonstrationsprojekte. Sie zielen darauf ab, die Mobilität nachhaltig zu gestalten und ein leistungsfähiges, effizientes und sicheres Verkehrssystem zu schaffen. Hierzu sollen u. a. Ressourcen effizienter genutzt werden. Ein Ziel ist es, die wachsenden Transportdienstleistungen mit weniger Energie, weniger Schadstoffen und weniger Lärm sowie verringerter Unfallhäufigkeit zu bewerkstelligen.

Die Materialforschung unterstützt die Erreichung dieser Ziele wesentlich. Sie hilft etwa bei der Entwicklung von Fahrzeugkonzepten mit geringem Energiebedarf und minimierten Emissionen durch den Einsatz von neuen Keramiken, Leichtbauwerkstoffen und Verbundwerkstoffen. Dies gilt sowohl für Verbrennungsmotoren als auch für alternative Konzepte wie Elektro- bzw. Brennstoffzellenantrieb.

Optische Technologien

Das Programm „Optische Technologien“ fördert die Entwicklung optischer Systeme der nächsten Generation und „innovative Anwendungen von Licht für Mensch, Produktion und Umwelt“. Optische Technologien tragen zur Lösung wichtiger Aufgaben der Gesellschaft, z. B. in den Bereichen Gesundheit, Umwelt, Verkehr und Mobilität, Biotechnologie und Nanoelektronik, bei. Die Materialforschung ist entscheidend für Fortschritte bei den optischen Technologien. Sie generiert beispielsweise neuartige Speichermedien und Lasertechniken. Aber auch die Erzeugung, Verstärkung, Übertragung und Manipulation von Licht sind auf grundlagenorientierte Forschung in den Materialwissenschaften angewiesen.

4. Handlungsfelder

Die im Rahmenprogramm WING identifizierten Handlungsfelder der Werkstofftechnologie leiten sich aus industriellen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und forschungspolitischen Zielsetzungen her. Sie bilden den im Vorfeld stattgefundenen Strategieprozess unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus der Evaluierungsstudie des Programms MaTech ab. Die fachspezifisch orientierten Felder sollen eine **möglichst große Hebelwirkung aus der Werkstoffentwicklung** heraus

- für innovative Anwendungen in der Industrie,
- für den gesellschaftlichen Bedarf und
- für eine nachhaltige Verbesserung der Umweltsituation

entfalten. Sie werden in der Regel über Bekanntmachungen für Förderprojekte geöffnet. Die Themen entspringen sowohl aktuellen Ergebnissen der institutionellen Grundlagenforschung, die in die industrielle Praxis überführt werden sollen (**Science and Technology Push**), als auch dem Bedarf der werkstoffbasierten Industrie (**Market Pull**). Nach Möglichkeit sollen sie **Beiträge zur Umweltentlastung** beispielsweise durch höhere Ressourcen- und Energieeffizienz leisten. Wesentliche Förderelemente sind dabei die **Kooperation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft** sowie die Berücksichtigung des Wertschöpfungsgedankens. Dem werkstoffanwendenden Industriepartner kommt in diesem Rahmen

Bedeutung der zukünftigen Handlungsfelder im Programm WING für deutsche Industriebranchen

Handlungsfelder Branchen	Nanotechnologische Werkstoff- konzepte	Computational Materials Science	Bionische Werkstoffe	Werkstoffe, Chemie und Lebenswissen- schaften	Stoffe und Reaktionen	Schichten und Grenz- flächen	Leichtbau	Ressourcen- effiziente Werkstoffe	Intelligente Werkstoffe	Elektromag- netische Funktions- werkstoffe
Chemische Erzeugnisse	1	2	1	1	1	1	2	2	2	3
Kunststoff- und Gummiwaren	1	1	2	1	1	1	1	2	2	3
Maschinen- und Anlagenbau	2	2	2	3	2	2	1	1	1	2
Fahrzeugbau	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2
Metallerzeugung und -verarbeitung	2	1	2	3	2	1	1	1	1	2
Luft- und Raumfahrt	1	1	1	3	2	1	1	1	1	2
Energietechnik	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2
Elektrotechnik	3	2	3	3	2	2	2	1	2	1
Elektronische Erzeugnisse	1	2	2	2	1	1	3	2	1	1
Lebenswissenschaften/ Medizintechnik	1	2	1	1	1	1	3	3	2	2

1: sehr hohe bis hohe 2: hohe bis mittlere 3: mittlere bis geringe Bedeutung

eine besondere Bedeutung zu. Die Tabelle zeigt die potenzielle Hebelwirkung der Handlungsfelder für die in Deutschland wichtigen Branchen.

Die Förderprojekte sollen zu **langfristig wirksamen Partnerschaften zwischen Großunternehmen und KMU** bei der **Entwicklung neuer Werkstoffe und Verfahren** führen oder diese verstärken. Gerade für den Mittelstand sollen günstige Voraussetzungen für das Partizipieren an der jeweiligen Fördermaßnahme geschaffen werden, um diese Unternehmensgruppe stärker in den Innovationsprozess einzubinden.

Ganz bewusst stehen somit als Handlungsfelder keine Werkstoffklassen oder Anwendungstechnologien im Vordergrund, sondern ausgehend von den Leitziele des Programms die folgenden **übergeordneten Themenschwerpunkte**, die untereinander stark vernetzt und offen sind für aktuelle Entwicklungen:

- Grundlagenorientierte, visionäre Handlungsfelder mit stark **interdisziplinärer Ausprägung**, langfristigen Entwicklungszeiträumen und **hoher Querschnittsfunktion** für andere Werkstoffbereiche.
- **Gesundheits- und damit stark gesellschaftsrelevante Handlungsfelder**, die insbesondere medizintechnische und lebenswissenschaftliche Werkstofffragen aufgreifen. Hierzu gehören ebenso nachhaltige chemische Prozesse zur Herstellung von umweltverträglichen Ausgangsstoffen und Materialien.
- **Technologiegetriebene Handlungsfelder** aus den Bereichen **Mobilität, Energie und Information**, in denen durch neue Werkstoffe **neue Produkte und Prozesse** generiert werden sollen.

Die **Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses** und die **verstärkte Einbindung von KMU** in den Innovationsprozess sind integrative Förderelemente in den Handlungsfeldern. Die Erfahrung aus der bisherigen Förderung zeigt, dass sich Werkstoffprojekte häufig mehreren der genannten Schwerpunkte zuordnen lassen, zumal neben der

eigentlichen Materialentwicklung in den Verbundprojekten zwischen Wissenschaft und Wirtschaft fast immer Ausbildungsaspekte und KMU-Beteiligungen berücksichtigt werden. Insofern will die Förderung ganz gezielt auch **Synergieeffekte nutzen und interdisziplinäre Ansätze unterstützen**. Dies gilt insbesondere für das **Zusammenwirken der klassischen Materialforschung mit der Nanotechnologie und den chemischen Technologien**.

4.1. Visionen durch Interdisziplinarität

4.1.1. Nanotechnologische Werkstoffkonzepte – kleine Dimensionen, große Effekte

Die Nanowissenschaften haben in den letzten Jahren grundlegend neue Erkenntnisse für die Werkstoffforschung erbracht. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Physik, Chemie, Biologie und Ingenieurwissenschaften hat sich dabei als notwendige Voraussetzung erwiesen. Darauf aufbauend wird die Nanotechnologie in immer stärkerem Maße Technikfelder und Märkte der heutigen Mikrotechnik besetzen, denn neben einer weiteren Miniaturisierung erschließt sie völlig neue Phänomene, die nur im Nanometermaßstab auftreten. Damit eröffnen sich Möglichkeiten, die weit über das Potenzial der Mikrotechnik hinausgehen. Aktuelle Schwerpunkte sind Nanostrukturwerkstoffe, chemische Nanotechnologie, ultradünne funktionale Schichten, Nanoanalytik und neue Werkstoffe durch laterale Strukturierung von Oberflächen.

Herstellung neuer Nanopartikel und deren Funktionalisierung

Nanopartikel weisen aufgrund ihrer erhöhten Reaktivität ein enormes Anwendungsspektrum auf, das aber noch nicht in seiner gesamten Breite erschlossen ist. So können neue und modifizierte Nanopartikel beispielsweise helfen, verbesserte Sensoren oder leistungstärkere Kondensatoren zu realisieren. Nanopartikel lassen sich mit unterschiedlichsten chemischen Gruppen funktionalisieren und auf diese Weise für die verschiedensten Zwecke maßschneidern. Eine Grundvoraussetzung für den Einsatz der-

artiger Partikel sind Arbeiten zu ihrer Dispergierung und Stabilisierung. Erst wenn sie sich verfahrenstechnisch sicher handhaben lassen, kann man sie für Anwendungen nutzen, wie z. B. flüssige Formulierungen niedriger Viskosität, hoch gefüllte Keramik-Schlicker, transparente Multifunktions-Coatings, Pigment-Dispersionen, E-Inks, Ferrofluide oder Polymerkomposite mit neuartigen optischen Eigenschaften.

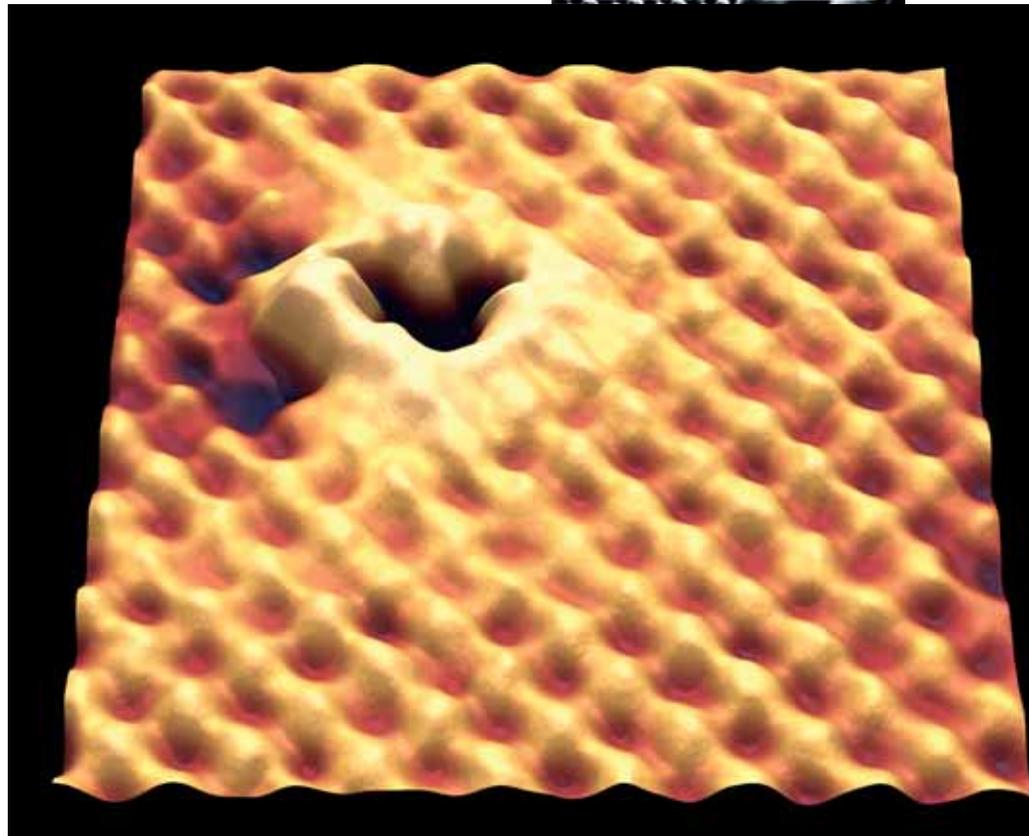
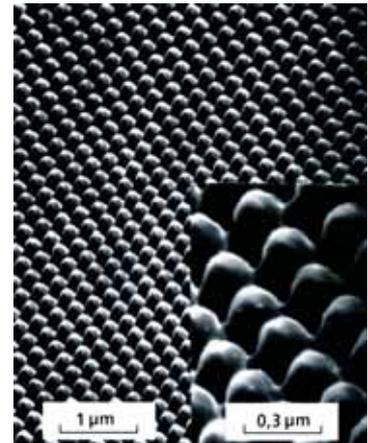
Eine viel versprechende Möglichkeit zur Nutzung von funktionalisierten Nanopartikeln bietet die Tumorbekämpfung. Spezielle oberflächenmodifizierte magnetische Nanopartikel sollen Tumore markieren, sie in einem magnetischen Wechselfeld lokal überhitzen und so zerstören. Auch das Beschichten von Nanopartikeln wird zu neuen Verfahren führen, welche die Handhabung empfindlicher (z. B. selbstentzündlicher) Nanopartikel verbessern oder zum Schutz vor chemischen Reaktionen (z. B. Alanate: Schutz vor H_2O) beitragen. Innovative Kombinationen aus Nanopartikeln und Kunststoffen sowie die Einstellung neuer optischer Eigenschaften bei Nanokristallen werden ebenso als Themen angesehen, wobei immer die Entwicklung technisch nutzbarer Lösungen im Vordergrund stehen soll.

Rasterkraft-Mikroskop-Aufnahme:
Nickeloxid-Oberfläche mit lokaler
Verschmutzung (atomare Auflösung).
Quelle: Kompetenzzentrum Nanoanalytik,
Koordinationsstelle Hamburg

Neuartige Schichten und Oberflächen

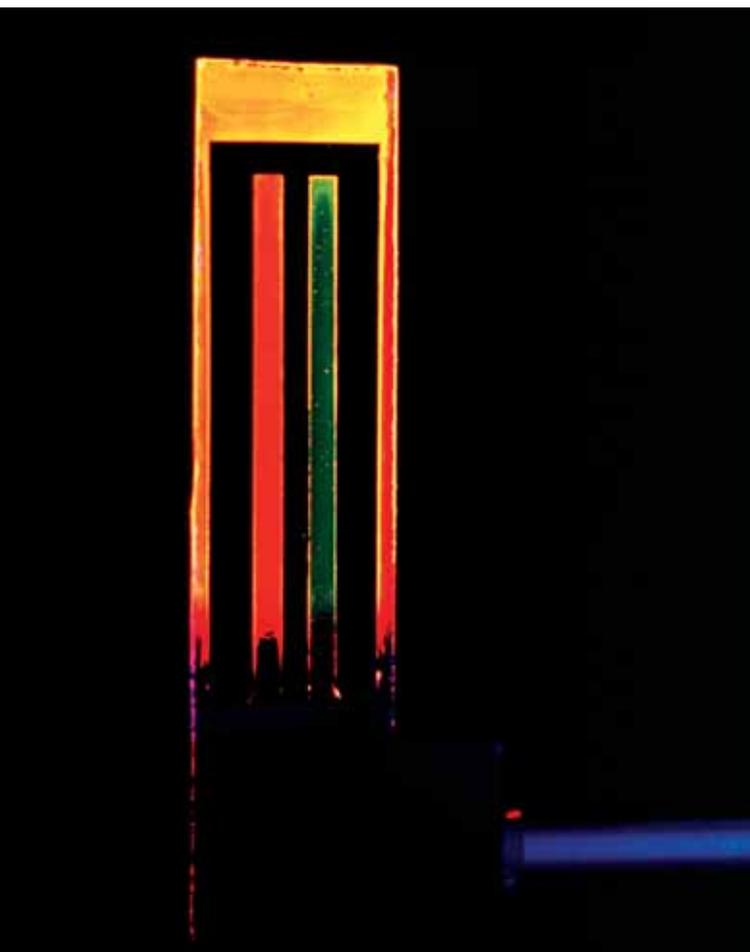
Die Entwicklung und Herstellung neuartiger Schichten und Oberflächen sind ein wichtiger Zweig der Nanotechnologie. Sie finden ihren Einsatz in nahezu allen Zukunftstechnologien, von der Mikroelektronik und Optik über die Medizin und Sensorik

Elektronenmikroskopische Aufnahme der nanostrukturierten Oberfläche einer hybriden Sol-Gel-Schicht auf Glas, die sowohl eine stärker schmutzabweisende Eigenschaft aufweist als auch einen ausgeprägten Schutz vor unerwünschter Beschriftung bietet.
Quelle: Fraunhofer Gesellschaft (FhG-ISC)



bis hin zu Verschleißschutzschichten. Sehr wichtig, aber noch wenig erforscht, ist die Oberflächenveredlung mit nanostrukturierten Systemen. Dazu gehören Beschichtungen, die zur Verbesserung der Kratzfestigkeit oder zur Wasser- und Schmutzabweisung beitragen. Ein weiteres bedeutsames und technisch relevantes Forschungsfeld ist die Verbesserung der Antireflex-Eigenschaften und des UV-Schutzes beispielsweise für elektrochrome und photoaktive Beschichtungen sowie die Entwicklung innovativer abriebfester Schichten. Auch die Entwicklung schaltbarer, adressierbarer bzw. struktu-

Herstellung vielfarbiger Displays über elektrisch kontrollierbare Selbstorganisation. Mit Halbleiternanokristallen erzeugte Fluoreszenz. Bei den stabförmigen Gebilden in der Bildmitte handelt es sich um die Arbeits- und die Gegenelektrode.
Quelle: Prof. Feldmann; LMU München



rierbarer dünner Schichten kann entscheidend für technische Anwendungen sein. Die Arbeiten sollen zu Innovationen bei den magnetischen Eigenschaften, der Transparenz oder der einstellbaren bzw. schaltbaren Hydrophobie/Hydrophilie von Schichten führen. Außerdem sind photovoltaische Beschichtungen zukunftssträftig.

Ferner kann der gezielte Aufbau von Nanoschichten und Nanostrukturen, die schaltbar bzw. regenerierbar sind, für folgende Anwendungen von Interesse sein: mikroelektronische Bauelemente, Polymer Electronics und Smart Polymers, Displays, Licht- und Wärmemanagement und Dämpfer sowie Aktuatoren und Sensoren.

Im Bereich der Bioanalytik und Diagnostik sowie der Sensorik können Nanosysteme zu komplexen, hochintegrierten Arrays führen oder durch Substrate für Microarrays und (Neuron-)Zellkulturen neue Anwendungslösungen eröffnen. Zudem kommt dem Forschungsfeld der inneren Grenzflächen eine große Bedeutung zu, wenn Nanomaterialien mit gezielt eingestellten elektrischen, magnetischen und optischen Eigenschaften zusammen mit optimierten bruchmechanischen Eigenschaften entwickelt werden.

Selbstorganisationseffekte

Ein viel versprechender, zukunftsweisender und noch weitgehend unerforschter Ansatz zur Herstellung nanoskaliger Strukturen ist die Selbstorganisation. Auf diese Weise gelang in einigen Fällen bereits die gezielte Herstellung größerer Systeme aus Molekülbausteinen im Nanometerbereich. Die supramolekulare Aggregation soll spontan und steuerbar erfolgen. Hierzu muss vor allem die Erforschung der Steuerbarkeit der einzelnen Molekülbausteine vorangetrieben werden. Das damit einhergehende Verständnis der Selbstorganisation wird dazu beitragen, dass die angewandte Forschung und die industrielle Entwicklung die Dimensionen der Nanowelt erobern.

Mesoporöse bzw. schaumartige Strukturen

Mesoporöse bzw. schaumartige Materialien haben

extrem große aktive Oberflächen und weisen deshalb oft besondere Eigenschaften auf. Sie sind in der Lage, die Leistungsfähigkeit von Brennstoffzellen und Batterien oder anderen Speichermaterialien deutlich zu steigern und ermöglichen die Entwicklung innovativer Sensoren beispielsweise für die Prozesstechnik. Weitere Anwendungsfelder für diese Materialien sind der Einsatz bei der Gebäudeisolation (Nanostyropor), der Schalldämmung, als Metallschutz im Auto und sogar als künstliches Papier.

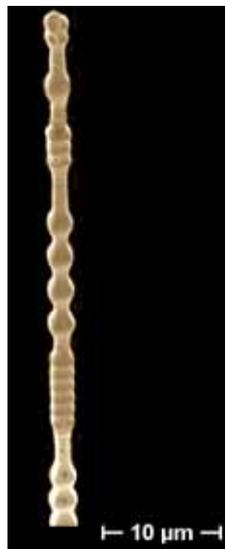
Toxizität und Sicherheitsaspekte von Nanosystemen

Der vermehrte Einsatz von Systemen im Nanometerbereich könnte unter Umständen dazu führen, dass ultrafeine Partikel zunehmend in unsere Umwelt gelangen. Geeignete Verarbeitungs- und Rückhalteverfahren sollten dies zwar verhindern, aber trotzdem ist es notwendig, eventuell schädliche Einflüsse derartiger Partikel rechtzeitig zu untersuchen. Die Erkenntnisse der Nanotechnologie können das Wissen über das Verhalten von Nanopartikeln in der Umwelt fördern und ihre Erfassung und Kontrolle ermöglichen. Bislang liegen bereits für einzelne Nanopartikelsysteme Untersuchungen zur Toxizität vor. Im Rahmen einer allgemeinen Vorsorge sind hierzu aber weitere Arbeiten nötig, die sich mit dem möglichen Eindringen von Nanopartikeln in den menschlichen Körper und ihrer Wirkung auf den Organismus befassen.

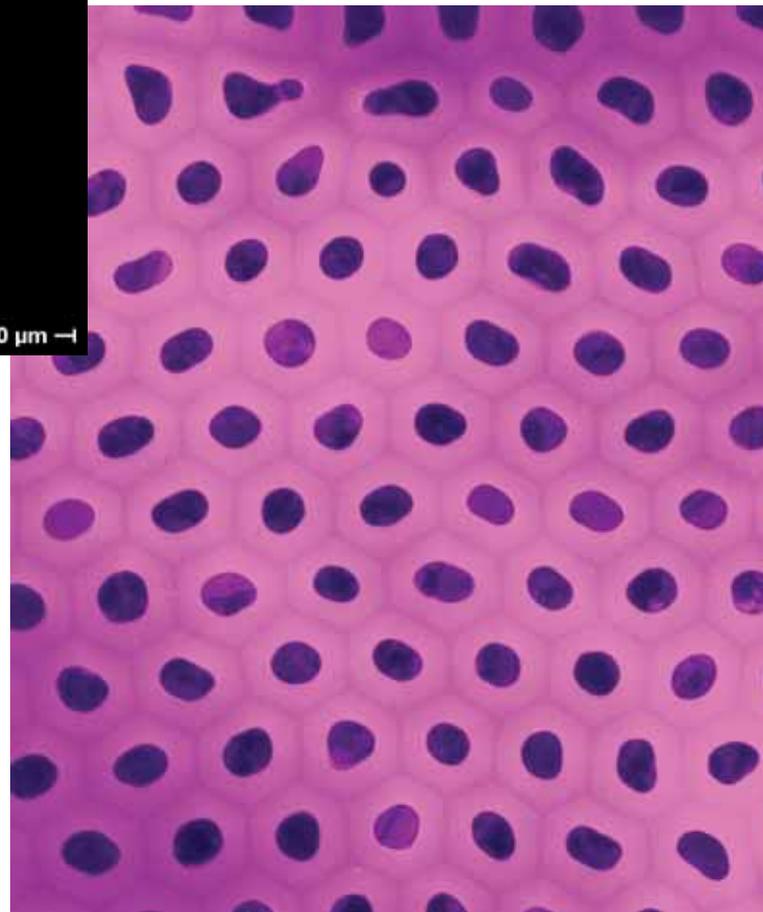
Für alle Disziplinen der Nanotechnologie gilt: Durch anwendungsorientierte und interdisziplinär angelegte FuE-Aktivitäten mit hohem wissenschaftlichem Anspruch soll ihre Erschließung gefördert werden. Neue innovative Nanosysteme und die Nutzung ihres nachhaltigen Potenzials werden einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands liefern. Ein Beispiel sind maßgeschneiderte Nanostäbchen: Derzeit sind Nanotubes in der Entwicklung mit Durchmessern zwischen 10 und 100 nm und maßgeschneiderten chemisch-physikalischen Eigen-

schaften. Solche Materialien kann man auf unterschiedliche Weise herstellen: Man kann Nanodrähte elektrochemisch an Kristallkanten abscheiden oder eine Abscheidung aus der Gasphase mit dem Aufwachsen auf einem Katalyten verknüpfen. Ferner kann man die anisotrope Anlagerung von Linkermo-

Links: Mikrobarcode mit optisch lesbaren Informationen – vergleichbar dem Strichcode auf Konsumartikeln
Quelle: Max-Planck-Gesellschaft, Institut für Mikrostrukturphysik Halle



Unten: Nanostrukturen eröffnen neue Wege für magnetische Datenspeicher: Transmissionselektronische Aufnahme eines ferromagnetischen Nanostrukturensembles mit einem Durchmesser der Stäbe von 25 nm mit einem regelmäßigen Abstand von 65 nm, eingebettet in eine Al_2O_3 -Matrix.
Quelle: Max-Planck-Gesellschaft, Institut für Mikrostrukturphysik Halle



lekülen an Kolloidpartikel oder eine Abscheidung in einem Templat – einer Schablonenstruktur – initiieren. Dafür eignen sich beispielsweise hochgeordnete poröse Al_2O_3 -Arrays. Anwendungen für derartige Nanotubes liegen in der Biomedizin (die bereits erwähnte Krebsbekämpfung durch Hyperthermie mit biospezifisch-funktionalisierten magnetischen Nanopartikeln), der Filtertechnologie, dem Einsatz als Katalysatorträger und in der Informationstechnik.

4.1.2. Computational Materials Science – rechnergestützt zu neuen Konzepten

In der Vergangenheit war die Suche nach neuen und verbesserten Materialien meist durch die Anwendung empirischer Methoden (Trial-and-Error) gekennzeichnet. In den letzten Jahrzehnten wurde in den Materialwissenschaften auch durch Erfolge in der Analytik jedoch ein tiefes Verständnis der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Werkstoffen erarbeitet. Mit diesem Wissen und der enorm gesteigerten Computerrechenleistung ist es heute bereits ansatzweise möglich, die Materialeigenschaften mittels moderner Methoden der Modellbildung und Simulation vorherzusagen, bevor der Werkstoff oder das Bauteil produziert wird. Traditionelle empirische Methoden werden zunehmend durch theoretische Vorhersagen ergänzt oder im Idealfall ersetzt. So werden z. B. industrielle Softwareanwendungen für die Berechnung der Formfüllung, Erstarrung und Abkühlung, der mechanischen Eigenschaften, der thermischen Spannungen und

des Verzugs von Metallgussteilen bereits in vielen mittelständischen Gießereibetrieben eingesetzt.

Computersimulationen sind in Kombination von mathematischen, informationstechnischen, ingenieur- und materialwissenschaftlichen Ansätzen ein essenzielles Werkzeug zum maßgeschneiderten Design neuer Materialien. Ihr praktischer Nutzen besteht in der einfachen, abhängig vom Rechenaufwand oft quasibeliebigen Wiederholbarkeit, in der Analyse von Bereichen, die für herkömmliche Experimente zu klein oder zu groß, zu schnell oder zu langsam, zu gefährlich oder zu teuer sind oder die zeitlich oder räumlich durch aktuelle Messtechniken nicht zugänglich sind.

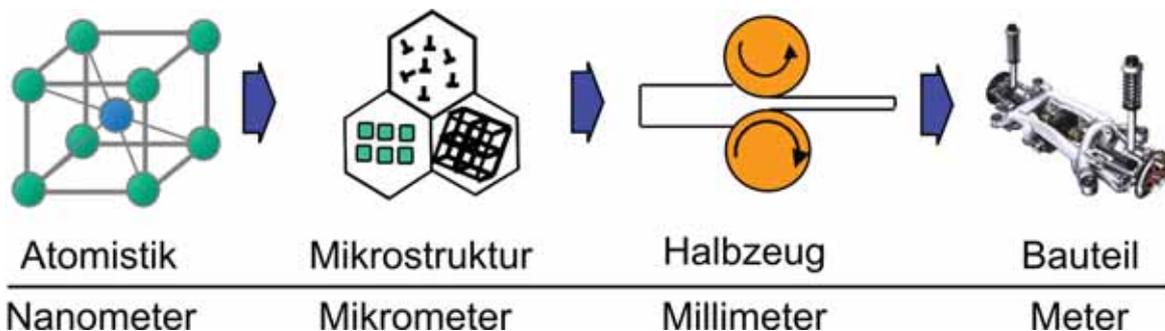
Insbesondere können durch Simulationen in der Materialentwicklung

- kosten- und ressourcenaufwendige Experimente in der industriellen und naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung reduziert,
- Zyklen der Technologie- und Produktentwicklung erheblich verkürzt und die Produktqualität verbessert (Erfolgskriterium: „time to market“),
- das Materialverhalten beim späteren Einsatz in einem Produkt über seinen Lebenszyklus vorausgesagt und damit auch Risiken für Umwelt und Gesellschaft analysiert und minimiert werden.

Allerdings sind die Eigenschaften von Festkörpern, insbesondere von technologisch verwendeten Materialien, in höchstem Maße komplex und deshalb

Größenskalen, in denen die Eigenschaften von Werkstoffen definiert werden.

Quelle: RWTH Aachen



nicht in nur einem einheitlichen Modell zu behandeln. Für praktisch jeden Vorgang und jede Eigenschaft eines Festkörpers muss daher eine andere Modellvorstellung entwickelt werden, die sowohl mit dem physikalischen Verständnis des Festkörpers noch vereinbar ist als auch eine praktikable Problemlösung zulässt. In der Realität werden im Gegensatz zu diesen schrittweisen Modellansätzen die Eigenschaften des Werkstoffes durch eine Verkettung von Vorgängen, Prozessen und Zustandsänderungen dynamisch verändert, so dass diese letztlich zum (erwünschten) Bauteilverhalten führen.

Heutige Bestrebungen zielen langfristig auf eine Überwindung der bestehenden Beschränkungen in der Modellierung, so dass eine Verknüpfung individueller Einflüsse möglich wird. Damit ließen sich durchgängige Simulationen der Prozessabläufe und

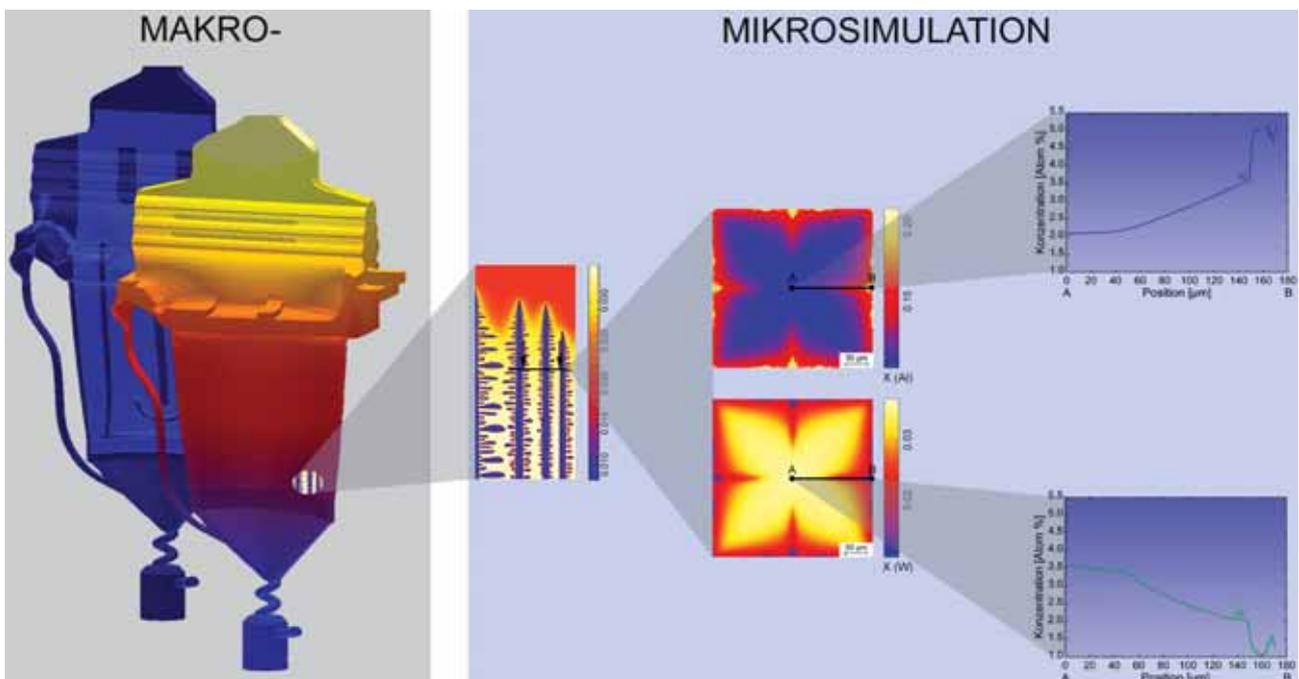
Eigenschaftsänderungen vom Rohstoff bis zum Bauteil erreichen, und zwar u. a. eine Verknüpfung

- der Prozessführung,
- der Werkstoffklassen und
- der verschiedenen Längen- und Zeitskalen, d. h. von der atomistischen über die mikroskopische bis hin zur makroskopischen Modellierungsebene.

Daher sind neue oder angepasste theoretische Methoden und Algorithmen erforderlich, um individuelle Einzelbausteine von Systemen oder im Idealfall die Entwicklung eines ganzheitlichen Materialansatzes und die Entwicklung komplexer Materialsysteme zu unterstützen, um so die Perspektiven der Simulation auch für neue oder gegenüber dem *Status quo* verbesserte Anwendungsfelder zu erweitern.

Optimale Kontrolle des Mikrogefüges durch die Wahl berechneter Prozessbedingungen ist der Schlüssel für eine kosteneffektive, hochwertige Produktion. Gekoppelte Makro-Mikrosimulation der Erstarrung ist eine Zukunftstechnologie, die heute an der Schwelle zum praktischen Einsatz in der Gießerei steht. Das Bild zeigt schematisch am Beispiel einer einkristallin gerichtet erstarrten Turbinenschaufel, wie der Gießprozess – simuliert auf makroskopischer Längenskala (FE-Programm CASTS) – das Gefüge – simuliert auf mikroskopischer Längenskala (Programm MICRESS) – beeinflusst. Ein wesentlicher Bestandteil dabei ist die Schnittstelle zu einer thermodynamischen Datenbank für technische, mehrkomponentige Legierungen.

Quelle: Access e. V., Aachen



4.1.3. Bionische Werkstoffe – natürliche Bauprinzipien in der Technik

Seit einigen Jahren werden verstärkt biologische Systeme dahingehend untersucht, ob sie als einfaches Vorbild für komplizierte technische Konstruktionen oder technologische Anwendungen dienen können. Die Bionik als wissenschaftliche Disziplin befasst sich mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktions-, Verfahrens- und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme. Dabei wurden bereits klassische Beispiele wie der Lotuseffekt, die Haifischhaut oder auch das Fledermausohr erforscht und technologisch umgesetzt. Gerade in der heutigen Zeit, wo die Werkstoffforschung zunehmend interdisziplinär und fächerübergreifend agiert, bieten sich ungeahnte Möglichkeiten, bionische Prinzipien neu zu beschreiben und für die Anwendung nutzbar zu machen. Hier ist es besonders viel versprechend, wenn Biologie, Chemie, Physik, Biotechnologie und die Materialwissenschaften gemeinsame Forschungsanstrengungen unternehmen. Auch ökologisch können sich hierdurch Vorteile ergeben, da bionische Werkstoffe sich im Allgemeinen durch eine rohstoff- und energieminierte Produktionsweise auszeichnen, wodurch sie auch einen Beitrag zum effektiven Umgang mit natürlichen Ressourcen liefern können.

Mit der Bionik werden zunehmend interdisziplinäre und unkonventionelle Werkstoffentwicklungen synthetischer Werkstoffe, die in Struktur, Funktion oder Herstellverfahren auf biologischen Vorbildern beruhen, frühzeitig aufgegriffen und in die industrielle Anwendung übertragen. Auf dem Gebiet der Werkstoffforschung beschäftigen sich Forscher beispielsweise mit der Abbildung biologischer Strukturen auf keramische Werkstoffe, wodurch die besonderen mechanischen Vorteile der biologischen Strukturen für technische Anwendungen erschlossen werden sollen. Auch die biomimetische Erzeugung metallischer Cluster für vielfältige katalytische und sensorische Anwendungen wird erforscht. Weit fortgeschritten ist die Übertragung der Vorteile der Haifischhaut auf technische Systeme. Durch die günstigen Strömungs-

eigenschaften, übertragen auf den Schwimmanzug der Hochleistungssportler, lassen sich zwar neue sportliche Rekorde erzielen, wichtiger aber ist die Übertragung auf die Luftfahrt, wo in erheblichem Umfang Treibstoff eingespart werden kann.

Der Lotuseffekt, der durch eine Noppenbildung im Mikrometerbereich entsteht, erlaubt es, leicht zu reinigende Oberflächen herzustellen, an denen Schmutz nicht mehr haften bleibt. Aber hier sind noch in erheblichem Umfang Arbeiten notwendig, um eine Dauerhaftigkeit dieses Effektes zu ermöglichen.

Der hierarchisch strukturierte, zelluläre Aufbau von Pflanzenfasern oder Holz bietet sich an als eine morphologisch interessante Vorlage für synthetische keramische oder metallische Werkstoffe z. B. für den Leichtbau oder für poröse Filter/Membranstrukturen. Durch Abformprozesse kann die biologische Zellstruktur bereits heute im Labormaßstab vollständig auf z. B. SiC- oder Al₂O₃-Keramik (biomorphe Keramik) übertragen werden.

Muschelschalen zeichnen sich aufgrund ihres nanostrukturierten Aufbaus nicht nur durch eine hohe Festigkeit, sondern auch durch eine keramikuntypisch hohe Bruchzähigkeit bei geringem Gewicht aus. Mithilfe komplexer proteingesteuerter Biomineralisationsprozesse entsteht aus einfachem CaCO₃ unterschiedlicher Kristallmodifikation ein bruchzäher Biopolymer/Keramik-Verbund.

Erst vor einigen Jahren gelang die vollständige Entschlüsselung des molekularen Aufbaus von Spinnenseide: Nanoskalige, kristalline und amorphe Strukturen im Verbund lassen steuerbare Bruchdehnungen bis 40 % zu und ergeben bei geringem Gewicht Festigkeiten, die z. T. zehnfach höher sind als bei Kevlarfasern.

Neben dem Lotuseffekt oder der Haifischhaut sind weitere bioanaloge Oberflächenstrukturen von synthetischen Werkstoffen vorstellbar, die z. B. die Korrosionsbeständigkeit des Grundwerkstoffs erhöhen

oder katalytische Funktionen ausüben könnten. Erste visionäre Ansätze gibt es bereits zum Einbau lebender Zellen in hochporöse Festkörper („Biocere“). Die Beispiele verdeutlichen zum einen das Transferpotenzial biologischer Materialstrukturen und Verfahren, wobei häufig Grenzflächeneffekte anorganisch/organischer oder anorganisch/biologischer Natur (biomolekulare Template) für die Synthese und das spätere Werkstoffdesign eine entscheidende Rolle spielen. Zum anderen kommt auch eine ökologische Komponente zum Tragen: Die Natur baut ihre Materialien und Strukturen äußerst ressourcenschonend und funktionell aus ubiquitär vorhandenen Ausgangssubstanzen und unter moderaten Umgebungsbedingungen auf.

Aus den genannten Beispielen lassen sich folgende übergeordnete Themen für bionische Werkstoffansätze ableiten: biofunktionalisierte Oberflächen (Korrosion, Tribologie, Antifouling etc.), Nutzung biomorpher, hierarchischer Strukturen in synthetischen Werkstoffen, biohybride Werkstoffe, biomineralisierte Werkstoffe, Trägermaterialien mit bioanalogen („enzymatischen“) Funktionen z. B. für Membranen, Filter oder Katalysatoren.

4.2. Leben, Gesundheit und Gesellschaft

4.2.1. Werkstoffe, Chemie und Lebenswissenschaften – der Mensch im Zentrum

Leichtere Fahrzeuge, stabilere Verpackungen, schnellere Informationen, leistungsfähigere Computer, wirksamere Medikamente, höhere Energieausbeuten, größere Recyclingquoten, verbesserte Wirkungsgrade oder geringerer Materialverbrauch setzen häufig die Entwicklung neuartiger Werkstoffe voraus. Die speziellen Anforderungen an Werkstoffe für neu zu entwickelnde Produkte machen ein übergreifendes Arbeiten verschiedener Disziplinen wie Ingenieurwissenschaften und Chemie bis hin zu den Lebenswissenschaften notwendig. Der potenzielle Nutzen für den Menschen steht hierbei im Mittelpunkt. Der übergreifende Ansatz lässt sich am Beispiel der Entwicklung neuer Materialien und Verfah-

ren für den medizinischen Einsatz gut darstellen: Vor allem in den wohlhabenden Staaten der Erde steigt die Lebenserwartung der Menschen beständig – eine Entwicklung, die durch die Fortschritte der Medizin ermöglicht wurde und ihrerseits den Bedarf an neuen Verfahren der Medizin wachsen lässt. Die rasante wissenschaftliche und technische Entwicklung auf den Gebieten der Prophylaxe und Therapie ist verbunden mit einer ständigen Nachfrage nach neuen medizinischen Geräten, Instrumenten, Analyseverfahren und Substanzen bis hin zu Materialien für den Ersatz von Körpergewebe oder Organfunktionen. Voraussetzung hierfür sind Materialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften.

Biofunktionelle Materialien in der Medizin

Zahlreiche Fortschritte in der Medizin und Zahnmedizin in den letzten Jahren sind erst durch neue, bioverträglichere Materialien möglich geworden. Implantate, wie z. B. künstliche Gelenke, sind dadurch langlebiger und ihre Verträglichkeit ist durch

Resorbierbare Folie aus Poly (L, DL) mit keramischer Beschichtung aus β -TCP. Die Folie wird in der dentalen Implantologie als physikalische Barriere zur Abgrenzung der Knochendefekte von umgebendem Weichgewebe eingesetzt. Die Keramikbeschichtung auf der Defektseite unterstützt die Knochenregeneration. Im Gegensatz zu üblichen Folien aus nicht resorbierbaren Polymeren (ePTFE) kann die Zweitoperation entfallen.
Quelle: Kompetenzzentrum für Biomaterialien, Ulm

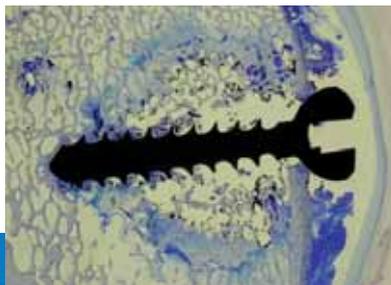


biokompatible Oberflächen verbessert worden. Allerdings reichen die Eigenschaften dieser Implantate noch nicht an die natürlichen Gelenke heran. Wie viel besser wäre es doch, wenn verschlissene Gelenke nicht entfernt, sondern regeneriert werden könnten? So könnte die verschlissene Knorpelschicht eines Kniegelenks außerhalb oder im Körper zu neuem Wachstum angeregt werden. Gewebespezifische Materialien, die Heilungsprozesse aktiv fördern, sind dazu erforderlich.

Jüngste Erfolge der Grundlagenforschung in der Herstellung von Gewebeersatz durch Kultivierung von körpereigenen Zellen zeigen den Paradigmenwechsel in der Medizin von der reparativen zur regenerativen Medizin, allerdings auch die noch vor-

Rechts: Augmentierte Schraube, sechs Monate nach Implantation, Paragon-Färbung, Makroaufnahme
Quelle: Universität Ulm

Unten: Hochleistungskeramik für Hüft- und Kniegelenksprothesen
Quelle: CeramTec AG



handenen Probleme. Daher wird auch zukünftig ein Schwerpunkt der Förderung im Bereich der regenerativen Materialien als biologische Ersatzstoffe (regenerative Biomaterialien) liegen. Resorbierbare synthetische Materialien dienen z. B. nach einer Implantation als Platzhalter und Leitstrukturen, die im Rahmen von Umbauprozessen (Remodelling) durch nachwachsendes Gewebe ersetzt werden. Trägermaterialien Scaffolds mit integrierten körpereigenen Zellen und wachstumsfördernden Substanzen sollen den dreidimensionalen spezifischen Gewebenaufbau (Tissue Engineering) fördern und beschleunigen.

Ein weiterer Schwerpunkt sind biologische Füge-techniken. Biokompatible und bioaktive Materialsysteme, beispielsweise Polymere oder Gläser, die biodegradierbar und ähnlich dem Knochengewebe remodellierbar sind, sollen als Klebesysteme feste und flexible Verbindungen zwischen Hart- oder Weichgewebe sowie an den Übergängen dazwischen schaffen und einfach handhabbar sein. Als Gewebekleber sollen sie den Neuaufbau des Gewebes (Remodelling) fördern, bevor die Klebeschicht ihre Festigkeit verliert. Als Vision könnte dies bedeuten, dass Operateure zukünftig ohne Nahtmaterial und Knochenschrauben auskommen.

Im Bereich Biologisierung von Materialoberflächen sollen durch die Beschichtung von Implantaten z. B. mit biologisch aktiven Substanzen, durch Gestaltung spezieller Oberflächenstrukturen oder durch Ankopplung von Zellen und Zellbestandteilen

- die Gewebeneubildung stimuliert und somit die Langzeitstabilität an der Grenze Implantat zu Gewebe verbessert,
- die Remodellierung von Ersatzmaterial gesteuert und
- die bakterielle Besiedlung der Implantatoberfläche verhindert werden.



Trägermaterialien für gezielte Therapien mithilfe der Chemie

Die Applikation von Medikamenten erfolgt heute noch nicht gezielt, sondern der Wirkstoff, der nur an einer bestimmten Stelle wirken soll, verteilt sich zunächst im gesamten Organismus. Therapeutische Konzentrationen übersteigen dabei oft ein Vielfaches der eigentlich notwendigen lokalen Wirkkonzentrationen, was nicht selten, beispielsweise in der Tumorthherapie mit unerwünschten Nebenwirkungen für den Patienten verbunden ist. Konzepte, die therapeutische Dosis zu minimieren und Wirkstoffe direkt vor Ort zu bringen, sind daher höchst wünschenswert. Ein möglicher Weg ist die Erforschung neuer Trägermaterialien, die neue Konzepte für die Wirkstoffverpackung und deren Adressierung an den Wirkort ermöglichen.

Diagnostik und Analytik

Miniaturisierte und hoch empfindliche Analyseverfahren ermöglichen das rasche Durchmustern großer Probenzahlen. Die sind inzwischen unverzichtbar für die biomedizinische Forschung geworden und finden mittlerweile in zunehmendem Maße auch in den klinischen Bereichen Anwendung. In einigen Teilbereichen, wie beispielsweise der Analyse von Erbinformationen, werden solche Methoden schon erfolgreich eingesetzt. Eine Erweiterung der Einsatzmöglichkeit von miniaturisierten und hoch empfindlichen Verfahren auf weitere diagnostische Felder kann zu einer wesentlichen Kostensenkung der Untersuchungen und zu einer geringeren Belastung für den Menschen führen. Die Erforschung intelligenter Trägermaterialien, gezielter Modifizierungsverfahren für Materialien und verbesserter analytischer Konzepte gibt hier wesentliche Impulse zu einer leistungsfähigen und kosteneffizienten Analytik.

Gewinnung reiner Substanzen

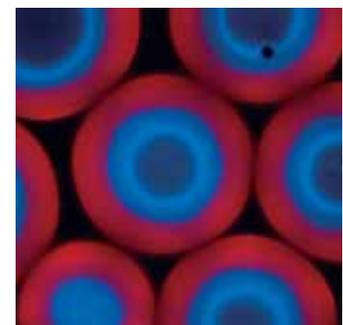
In der pharmazeutischen Industrie, der Biotechnologie und bei der Herstellung von Feinchemikalien besteht ein ständig steigender Bedarf an Reinstoffen. Aufgrund steigender Anforderungen an die Reinheit von Wertstoffen gewinnen chromatographische Trennprozesse auch im großtechnischen

Maßstab zunehmend an Bedeutung. Der steigende Einsatz gentechnischer Methoden in der pharmazeutischen Industrie bringt einen zusätzlichen Bedarf an geeigneten Trennmaterialien. Die Anreicherung und Feinreinigung dieser teils sehr komplexen Komponenten stellt besondere Anforderungen an Chromatographiematerialien, insbesondere für den technischen Anwendungsbereich im industriellen Umfeld, da Kapazität und Stabilität des Materials oft nicht den benötigten Anforderungen entsprechen. Daher ist eine Erforschung chromatographischer Trennverfahren und Materialien mit dem Aspekt der großtechnischen Umsetzbarkeit notwendig.

4.2.2. Stoffe und Reaktionen – auf chemischem Weg zu neuen Werkstoffen

Neue chemische Prozesse für innovative Werkstoffe bilden die Grundlage für Weiterentwicklungen in so unterschiedlichen Bereichen wie der Verkehrstechnik, der Informations- und Kommunikationstechnik oder im Umweltschutz. Die Suche nach hochenergetischen Materialien für die Energiespeicherung, nach Fluoreszenzfarbstoffen für die Solar-

Die Technik der Konfokalen Laser-Scanning-Mikroskopie ermöglicht erstmals die direkte Beobachtung von Transport und Adsorption verschiedener Stoffe innerhalb poröser Materialien. Das Bild zeigt die Bindung zweier Proteine, β -Lactalbumin (blau markiert) und Rinderserumalbumin (rot markiert), an sphärische Partikel eines Trennmaterials (Kationenaustauscher), das für die Trennung von Proteingemischen eingesetzt wird. Der helle blaue Ring zeigt einen Transportmechanismus, dessen Funktionalität bislang noch nicht genau geklärt ist, aber sehr stark von den jeweiligen Materialeigenschaften abhängt. Quelle: Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Institut für Enzymtechnologie



energiegewinnung, die Herstellung neuer optischer Datenspeicher und Schalter oder von Drug-Delivery-Systemen sind nur durch ständig neu- und weiterentwickelte chemische Verfahren und Prozesse möglich und erfolgreich. Die Beispiele demonstrieren den Dienstleistungscharakter der chemischen Industrie, die für eine nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft eine Schlüsselrolle spielt. Da die Nachhaltigkeit im Förderprogramm

Miniaturisierung in der chemischen Industrie – winziger Drucksensor als Schlüsselbaustein für Mikroreaktoren
Quelle: Siemens AG

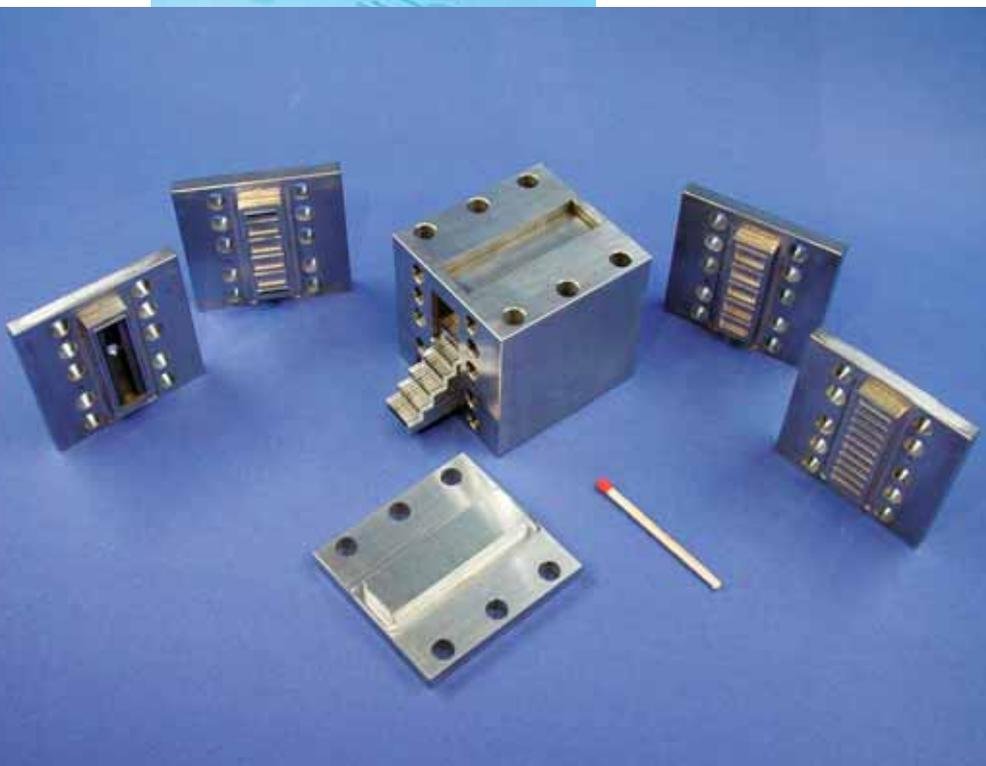


als ein Leitziel definiert ist, geht es in diesem Handlungsfeld auch um umweltverträgliche Produktionsprozesse für Werkstoffe, um beispielsweise chemische Prozesse effizienter, emissionsfreier, aber auch wirtschaftlicher führen zu können. Für die Herstellung von Hochleistungswerkstoffen mit neuen Funktionalitäten, die den Ansprüchen der zukünftigen technischen Systeme gerecht werden, ist die Entwicklung innovativer chemischer Prozesse unverzichtbar. Dabei sind die Anforderungen an die chemischen Prozesse aufgrund der gesellschaftlichen Ansprüche gewachsen. Die zu entwickelnden Verfahren müssen heutzutage nicht nur schnell und kostengünstig arbeiten, sondern entsprechend dem Leitziel der Nachhaltigkeit auch ressourcenschonend, energiesparend und abfallvermeidend sein. Um diese vielfältigen Aufgaben lösen zu können, ist die Zusammenarbeit verschiedener chemischer Disziplinen untereinander sowie mit anderen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen eine unabdingbare Voraussetzung.

Mikroreaktionstechnik

In der Mikroreaktionstechnik werden Reaktionsräume im Millimeter- oder Mikrometermaßstab erstellt. Sie werden dort eingesetzt, wo große Anlagen zu risikoreich oder zu ineffizient arbeiten. Werden mehrere hundert oder tausend dieser Mikroreaktoren parallel betrieben, lassen sich auch in ihnen große Produktmengen herstellen. Die Folgen ungewollter Reaktionen oder des Austretens von Chemikalien können minimiert werden. Es wird sogar versucht, Reaktionen, die normalerweise explosiv verlaufen, in Mikroreaktoren durchzuführen.

Mikroreaktorsystem zur Austestung verschiedener Katalysatorsysteme
Quelle: Institut für Mikrotechnik, Mainz



Kombinatorik

Die Grundidee ist einfach zu formulieren, aber die Realisierung ist anspruchsvoll: Wie findet man den optimalen Wirkstoff gegen eine Krankheit? Oder den optimalen Katalysator für eine Reaktion? Die Schritte, um die gesuchte Substanz zu finden: möglichst viele Kandidaten synthetisieren und sie dann auf ihre Wirkung testen. Der Einsatz der Kombinatorik in der Katalyse- und Materialforschung gestaltet sich jedoch schwierig. Die Herstellung neuer Werkstoffe ist kompliziert, ebenso wie das nachfolgende schnelle Screening der Testkandidaten, weil hier eine Fülle verschiedenster, meist voneinander unabhängiger Parameter überprüft werden muss.

Automatisierte Verfahren ermöglichen immer mehr Tests in immer weniger Zeit. Dabei ist es wichtig, standardisierte analytische Verfahren zu finden, die anhand kleiner und kleinster Probenmengen qualitative Aussagen über die jeweilige Zieleigenschaft erlauben. Steht das Testverfahren fest, gilt es, für ausreichenden Nachschub an Testkandidaten zu sorgen und systematisch eine große Zahl potenzieller Werkstoffe oder Katalysatoren aus wenigen Grundbausteinen herzustellen. Dabei werden alle Kombinationsmöglichkeiten dieser Bausteine durchgespielt. Die Kombinatorik in der Chemie erhöht die Chancen, neue Werkstoffe für innovative Techniken oder Katalysatoren für neue Verfahren zu finden. Denn: je größer die Zahl der Substanzen, die für einen Test zur Verfügung stehen, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit eines Treffers.

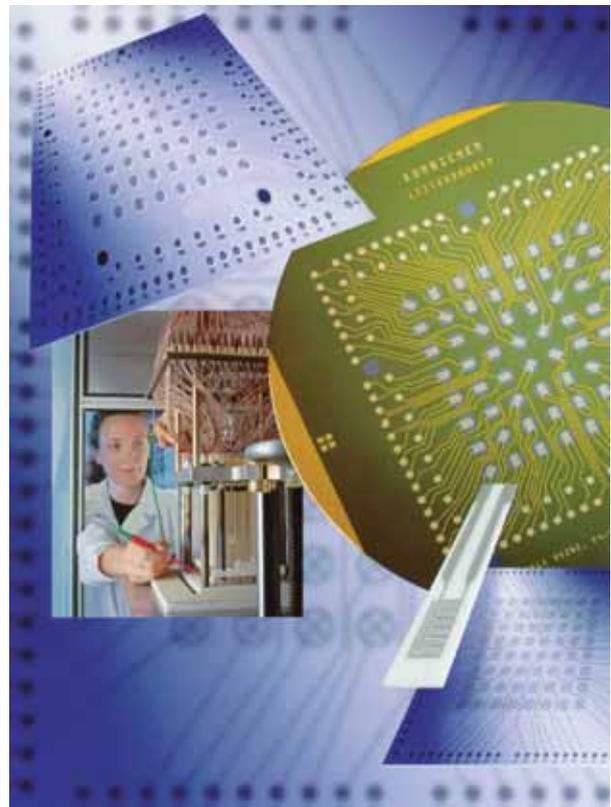
Katalyse

Etwas wirkt als Katalysator – das sagt man oft und meint: Es lässt Vorgänge schneller und mit weniger Aufwand zum Ziel kommen. Eigentlich sind Katalysatoren Substanzen aus der Chemie und der Biologie. Sie sorgen dafür, dass Reaktionen mit weniger Energie in Gang kommen und beschleunigt werden. Deshalb spielen Katalysatoren eine zentrale Rolle bei der Optimierung von Verfahren. Rund 80 % aller Industrie-Produkte kommen bei ihrer Herstellung mit mindestens einem Katalysator in Kontakt. Trotzdem weiß man oft noch nicht so ganz genau,

wie Katalysatoren funktionieren, und das macht die Katalysatorforschung zu einer besonders spannenden Aufgabe.

Zur gezielten, hochreinen Darstellung neuer Polymere und auch Medikamente sind Katalysatoren unabdingbar, da sie die Durchführung vieler Reaktionen überhaupt erst ermöglichen. Die Entwicklung neuer Katalysatoren, die hohe Stoffumsätze gewährleisten bei gleichzeitiger hoher Langzeitstabilität ist einer der Dauerbrenner in der Chemie. Das zeigt sich auch daran, dass der Nobelpreis für Chemie sowohl 1963 als auch 2001 an zwei bzw. drei Pioniere der Katalyse vergeben wurde, die u. a. Verfahren entwickelt haben, mit denen sich z. B. Entzündungshemmer und Betablocker kostengünstig in reiner Form herstellen lassen. Katalysatoren machen Produktionsverfahren effizienter und res-

Substratplatten für die kombinatorische Entwicklung von Sensormaterialien
Quelle: Robert Bosch GmbH



sourcenschonender, also zugleich wirtschaftlicher und umweltverträglicher. Sie sparen Energie, wenn sie die für eine Reaktion erforderliche Temperatur und den Druck senken. Aber sie können noch viel mehr, denn sie machen Reaktionen selektiver: Oft können aus denselben Ausgangsstoffen in verschiedenen Reaktionen verschiedene Endprodukte entstehen. Mithilfe von Katalysatoren lassen sich Prozesse so steuern, dass nur die gewünschte Synthese stattfindet. Dadurch sorgen sie für eine höhere Ausbeute, eine höhere Reinheit des Endprodukts und weniger Nebenprodukte, die entsorgt werden müssen.

In besonderem Maße gilt dies für Biokatalysatoren. Sie ermöglichen den Zugang zu hochwertigen Bausteinen für die Chemie und die Herstellung von Medikamenten. Mit ihnen sind so genannte chirale Moleküle zugänglich. Wie unsere beiden Hände, so verhalten sich auch viele Moleküle wie Bild und Spiegelbild: Sie sind chiral (von griechisch *cheir*: Hand). Biologische Systeme können zwischen Bild und Spiegelbild eines Moleküls unterscheiden. Obwohl sie ganz ähnlich aussehen, schmecken, riechen und wirken chirale Moleküle oft völlig unterschiedlich. Daher ist die selektive Herstellung chiraler Moleküle in allen Fällen wichtig, bei denen die Wechselwirkung mit einem biologischen System angestrebt wird: in der Arzneimittelentwicklung, dem Pflanzenschutz und bei Duft- und Aromastoffen.

Ein Beispiel, das in diesem Zusammenhang traurige Berühmtheit erlangte, ist das Medikament Contergan, bei dem eines der chiralen Moleküle die gewünschte pharmakologische Wirkung entfaltet, während das Spiegelbild fruchtschädigend wirkt. Biokatalysatoren (Enzyme) sind chemischen Katalysatoren hinsichtlich der Katalysegeschwindigkeit und der Selektivität meilenweit überlegen. Als Eiweiße lassen sie sich mittels biologischer Systeme (Bakterien, Hefen) aus einfachen Vorstufen herstellen und leisten somit einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit in der Chemie. Trotz ihrer hervorragenden Eigenschaften werden Biokatalysatoren bisher nur in untergeordnetem Maße in der chemischen Industrie genutzt, obwohl es nicht an

ermutigenden Beispielen für deren technische Nutzbarkeit fehlt. So stellt beispielsweise die Firma Degussa bereits seit Jahren die Substanz L-tertiär-Leucin mittels eines enzymatischen Verfahrens im Tonnenmaßstab her. Die vergleichsweise geringe Nutzung von Biokatalysatoren in industriellen chemischen Prozessen ist dabei nicht mit prinzipiellen Schwierigkeiten, sondern eher mit einem Mangel an Erfahrung mit dieser Katalysatorklasse zu erklären. Auch die chemische Modifikation von Naturstoffen, z. B. für stabile, biologisch abbaubare Kunststoffe, fällt hierin.

Innovative Stoffumwandlungen

Industriell gefertigte Produkte sind aus unserer Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Da aber beim Produktionsprozess die Stoffumwandlungen auf dem Weg vom Rohmaterial zum Endprodukt fast nie vollständig ablaufen, fallen immer auch Reststoffe an, welche die Umwelt unterschiedlich stark belasten. Ziel zukunftsorientierter Verfahren muss also die Minimierung dieser Reststoffe und eine Schonung der natürlichen Ressourcen sein, um so zur Stabilisierung des ökologischen Gleichgewichts beizutragen. Die Aufgabe ist daher, neue Wege für komplexe Substanzen zu finden, z. B. über biochemische Katalysatoren, neue Lösungsmittel (z. B. ionische Flüssigkeiten) oder einfachere Synthesen (z. B. Eintopf-Reaktionen), die bisher gar nicht oder nur mit unvermeidbar großem Aufwand herstellbar sind.

Exemplarisch für die Vielzahl der seit Beginn des 20. Jahrhunderts gemachten chemischen Entdeckungen und Entwicklungen, die aus dem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken sind, seien hier einige herausragende Entwicklungen angeführt:

- Ein Beispiel der vielseitigen Anwendbarkeit neuer Werkstoffe ist Teflon. Seit seiner Patentierung 1941 wird es vielfältig angewendet: als Antihafbeschichtung von Geschirr, als atmungsaktive, aber wasserdichte Zwischenschicht in Bekleidung, als technischer Hochleistungsschmierstoff oder als Maschinenteil.

- Ein weiteres Beispiel sind elektrisch leitende Kunststoffe, die 1977 das erste Mal synthetisiert wurden. Leitende Kunststoffe werden verwendet oder sind in der industriellen Entwicklung, z. B. für antistatische Mittel für photographische Filme, Strahlungsschutz an Computerbildschirmen und „intelligente“ Fenster, die im Sommer Sonnenlicht aussperren können. Kürzlich haben außerdem halbleitende Polymere sowohl in Leuchtdioden und Solarzellen als auch als Anzeigen in Mobiltelefonen und Fernsehschirmen im Miniformat Anwendung gefunden.
- Seit Entdeckung des ersten Flüssigkristalls im Jahre 1888 hat sich die Erforschung des flüssigkristallinen Phasenzustandes zu einem interdisziplinären Arbeitsgebiet entwickelt, das vielfältige chemische, physikalische, biologische und anwendungsrelevante Forschungsrichtungen einschließt. Flüssigkristalle sind durch die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Computertechnologie unverzichtbar geworden. So sind heutzutage durch die Entwicklungen auf dem Gebiet der Mikroelektronik schon Flachbildschirme auf der Basis von Flüssigkristallen mit hoher Brillanz und Farbtiefe für den durchschnittlichen PC-Besitzer erschwinglich geworden, und es werden bereits Fernsehgeräte hergestellt, die nur wenige Zentimeter dick sind. Ein Ende der Entwicklung ist noch nicht in Sicht. Aber auch an flüssigkristalline Verbindungen werden laufend neue Ansprüche gestellt, wie Lichtstabilität, geringe Doppelbrechung oder dielektrische Eigenschaften.

4.2.3. Schichten und Grenzflächen – Schutz, Funktion und Aktion

Grenz- und Oberflächenphänomene spielen in der modernen Werkstoffwissenschaft eine grundlegende und bestimmende Rolle. Vielfältige Eigenschaften bedingen meist mehrphasige sowie mehrkomponentige Werkstoffe. Sowohl die Herstellung als auch die späteren Eigenschaften entsprechender Werkstoffe/Bauteile werden daher von den Grenzflächenwechselwirkungen der verschiedenen Pha-

sen/Komponenten stark bestimmt. Dies gilt z. B. für Pulversynthesen, Formgebungsprozesse, Sinterprozesse, für dotierte, partikel- und faserverstärkte Werkstoffe, Haftungsphänomene, Kompatibilitätseffekte und Schichtverbundwerkstoffe. Anwendungsgerechte Funktionen werden vielfach ausschließlich durch die Eigenschaften der Werkstoff- bzw. Bauteiloberflächen bestimmt, die ihrerseits mit der jeweiligen Umgebung in Wechselwirkung stehen (z. B. bei Sensoren, beim Reibungs-, Verschleiß-, Oxidations- und Korrosionsverhalten, bei der Biokompatibilität etc.). Innere Grenzflächen spielen eine wesentliche Rolle u. a. bei Werkstofflegierungen bzw. -mischungen.

Wassertropfen auf einer behandelten Holzoberfläche, die eine extrem wasserabweisende (superhydrophobe) Oberfläche besitzt.
Quelle BASF AG

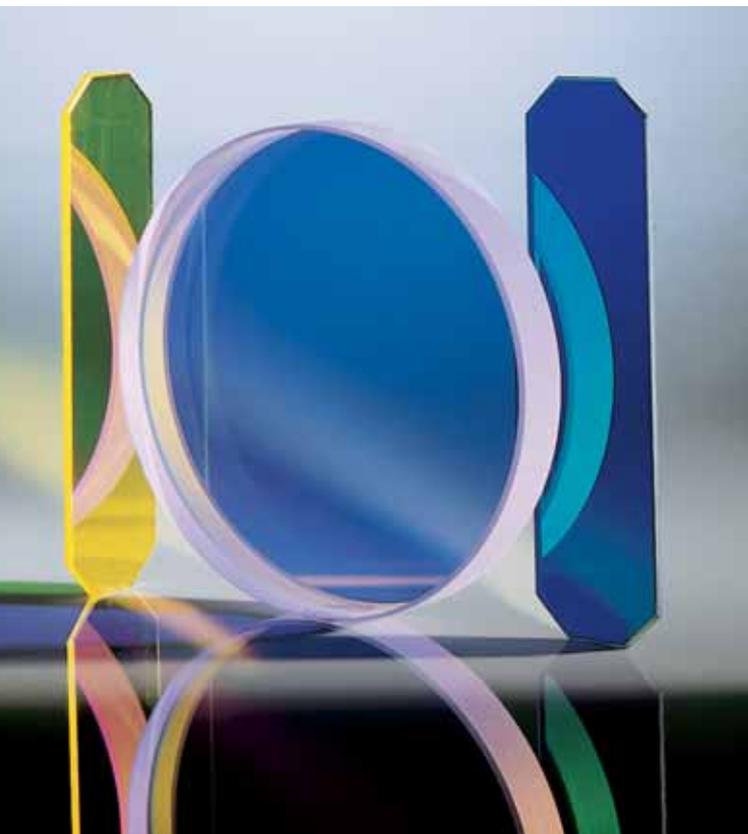


Schutzschichten

Die wesentliche Aufgabe von Schutzschichten ist das Erhöhen der mechanischen und der chemischen Widerstandsfähigkeit sowie der Korrosionsbeständigkeit und damit der Lebensdauer von Bauteilen und Komponenten in allen Bereichen der Industrie. Dünne Hartstoffschichten spielen insbesondere bei tribologischen Anwendungen eine bedeutende Rolle. Innovative Beschichtungstechnologien erlauben die Abscheidung eines breiten Materialspektrums. Hier sind besonders die Nitride und Carbide der Übergangsmetalle sowie Oxide und Boride, kohlenstoffhaltige Schichten, diamantähnliche Me-C- oder CN_x -Schichten zu nennen.

Diese Schichten zeichnen sich neben einer hohen Verschleißbeständigkeit und niedrigem Reibungs-

Optische Multischichtsysteme: Lasersubstrat und dichroitische Filter
Quelle: Berliner Glas KGaA



koeffizient oftmals auch durch eine gute Korrosionsbeständigkeit aus. Neben einfachen Schichtsystemen wie TiC oder TiN bieten auch Mehrkomponentenschichten, Multilayer oder nanokristalline Dispersionsschichten Möglichkeiten zur Darstellung von maßgeschneiderten Schutzschichten.

Multifunktionale Schichten

In der Medizintechnik werden beispielsweise Implantatmaterialien benötigt, die eine anwendungsgerechte mechanische Funktion gleichzeitig mit bioverträglichen oder bioaktiven Eigenschaften verbinden. Zum Beispiel werden Trägermaterialien mit funktionalisierten Oberflächen, an die Zellen oder Zellbestandteile ankoppeln, als Gerüst- oder Leitstrukturen benötigt. Bioaktive Beschichtungen sollen den Gewebeauf- und -umbau stimulieren und Heilungsprozesse beschleunigen. Oberflächen mit spezifischen Funktionalitäten werden auch in der Biotechnologie benötigt, z. B. bei der Auswahl und Aufreinigung von Proteinen oder Zellen.

Bei vielen Anwendungen in der Industrie steht die Beschichtung optischer Baugruppen zur Realisierung bestimmter Produkteigenschaften wie Reflexion, Transmission, Farbe usw. im Mittelpunkt des Interesses. Daher konzentrieren sich die Entwicklungen auf dem Gebiet der optischen Funktionsschichten vor allem auf transparente, leitfähige Oxidschichten, optisch wirksame Multilagensysteme oder photokatalytisch aktive Funktionsschichten. Als Beispiele sind zu nennen: transparente Kratzschutzschichten für Kunststoff- und Glasoberflächen, leitfähige transparente Oxide für Dünnschicht-Solarzellen, halbleitende Schichtsysteme für die Dünnschichtphotovoltaik oder niedrigemittierende Wärmefunktionsschichten für Architekturgläser und Autoverglasungen.

Die Verwendung von Schichtsystemen mit speziellen elektrischen und dielektrischen Funktionen ist ebenfalls von großer Bedeutung. Durch die fortschreitende Miniaturisierung elektrischer Baugruppen müssen z. B. neue Verfahren zur strukturierten Abscheidung von Leiterbahnen oder Dünnschichtwiderständen entwickelt werden. Die Herstellung

von maßgeschneiderten Beschichtungen mit Dünnschichtsensoren, eingebracht in die Oberfläche des Bauteils, ermöglichen bisher nicht zugängliche lokale Belastungsmessungen (z. B. von Druck und Temperatur) auf der Bauteiloberfläche. Andere Beispiele sind die Metallisierung von Kunststoffoberflächen für die EMW-Abschirmung und den ESD-Schutz, neue magnetoelektrische Schichten (z. B. für Festplattenleseköpfe) und Isolationsschichten (Schichtsysteme im Mikrometerbereich auf anorganischer Basis).

Haftungsphänomene

Haftungsvorgänge zwischen unterschiedlichen Materialien spielen in zahlreichen Technologiefeldern eine zentrale Rolle. Beispiele für die Nutzung von Haftkräften sind die Klebtechnik, die Herstellung von Verbundwerkstoffen oder auch vielfältige Funktionsbeschichtungen für die gesamte Werkstoffpalette. Häufig treten aber auch unerwünschte Haftkräfte auf, die zu erheblichen Produktionsstörungen führen können (z. B. bei der Trennung von Werkzeug und Fügepart, bei schlecht fließenden Pulvern oder bei Schmutzablagerungen auf Materialoberflächen. Darüber hinaus wird von komplexen Materialverbänden zunehmend gefordert, dass die Komponenten nach Gebrauch gezielt getrennt, d. h. enthaftet werden können, um ein Recycling zu ermöglichen.

Das Haftverhalten resultiert aus zahlreichen Wechselwirkungen mechanischer, physikalischer und chemischer Natur, und zwar von der nanoskopischen bis hin zur makroskopischen Skala. Diese Wechselwirkungen werden zusätzlich noch von zahlreichen Prozessparametern beeinflusst. Die Komplexität dieser Zusammenhänge trägt wesentlich dazu bei, dass es trotz intensiver Forschungsanstrengungen noch nicht gelungen ist, Grundlagen und Mechanismen der Haftung von Schichten und Grenzflächen auch nur annähernd zu verstehen. Diese Defizite führen dazu, dass in der industriellen Praxis Haftungs- bzw. Enthaftungsprobleme meist empirisch,

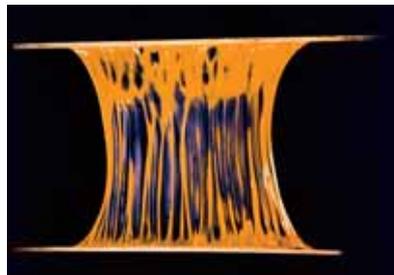
d. h. in Form kosten- und zeitintensiver Parameterstudien gelöst werden.

Das auf einem tieferen Grundlagenverständnis basierte Trennen und Verbinden, die gezielte Steuerung von Haftungs- und Enthaftungseffekten, wäre technologisch gesehen ein Qualitätssprung, der in vielen Bereichen, wie z. B. dem Fahrzeugbau, der Elektrotechnik/Elektronik, der Mikrotechnik, dem Maschinenbau, der Bauindustrie, der Oberflächentechnik, der Chemie-, Textil- und Papierindustrie oder auch der Kunststoffverarbeitenden Industrie ökonomische und ökologische Fortschritte möglich machen würde.

In zahlreichen wirtschaftlich wichtigen Technologiefeldern sind die Eigenschaften von Grenz- und Oberflächen von entscheidender Bedeutung. Die werkstoffspezifische Bandbreite reicht dabei von nahezu „Nichthaftung“ bis hin zu extrem haftfesten Verklebungen, die sogar die Festigkeit von Stahl übertreffen.

Links: Haftpfeifer Klebverband
Quelle: Henkel KGaA

Unten: Lotusblatt
Quelle: Prof. Dr. Wilhelm Barthlott, Universität Bonn



Grenzflächen

Zu den mittlerweile klassischen Grenzflächen-„Aktionen“ gehören ultradünne organische Schichten auf festen Substraten. Ein Beispiel für solche ultradünnen Schichten sind selbstorganisierende Monolagen (so genannte SAM's). Bestimmte SAM's verhindern z. B. die unspezifische Adsorption von Proteinen und Zellen auf künstlichen Materialien und sind so künftig in der Medizintechnik von Bedeutung. Durch Schicht-für-Schicht-Adsorption auf kolloiden Templaten statt ebenen Oberflächen wird eine neue Klasse von Nanokompositen mit Kern-Schale-Aufbau zugänglich. Der Kern lässt sich herauslösen und sofern es gelingt, die Durchlässigkeit der Schalenwand gezielt einzustellen und zu verändern („zu schalten“), eröffnet sich für solche Kapseln ein weites Anwendungsfeld, unter anderem als Systeme zur kontrollierten Freisetzung von Wirkstoffen.

Die heterogene Katalyse ist eine alte Wissenschaft und dabei doch auch eine Zukunftstechnik, ein etabliertes Werkzeug sanfter chemischer Technologie. In der heterogenen Katalyse liegt der Katalysator meist fest vor, während das Reaktionsgemisch flüssig oder gasförmig ist. Der Ort der katalytischen Wirkung ist die Katalysatoroberfläche. Da in realen Katalysatoren diese Oberfläche meist die Wand eines irregulären Porensystems im Innern von Katalysatorkörnern ist, die sich der direkten Untersuchung weitgehend entzieht, gibt es bisher nur wenige gesicherte Erkenntnisse über die Vorgänge auf atomarem Niveau und die an ihnen beteiligten Strukturen der Katalysatoroberfläche. Diese aber zu kennen und modifizieren zu können, ist essenziell für die Verbesserung bestehender und die Entwicklung neuer Katalysatorsysteme (technisch wichtige Beispiele: Dreiwegekatalysator, Methanolsynthese aus Synthesegas).

4.3. Mobilität, Energie und Information

4.3.1. Leichtbau – leichte Werkstoffe und Strukturen

„Denken Sie mal über Aluminium nach“, hatte Börsenguru André Kostolany noch kurz vor seinem Tod

in Kino- und Fernsehspots angeregt. Er hatte Recht, denn die Bedeutung von Aluminium als Werkstoff für Automobilkomponenten wuchs seitdem, genauso wie die der anderen Leichtbauwerkstoffe: Magnesium- und Titanlegierungen, hochfeste Stähle, Kunststoffe, Faserverbundwerkstoffe und Keramik.

Schwerpunkte industrieller FuE sind strukturoptimierte Leichtbauwerkstoffe und die dazugehörige Verfahrenstechnik für die Verkehrs- und Energiebranche. Welchen Stellenwert die Innovationsfähigkeit hat, wird etwa an den erheblich gestiegenen FuE-Etats der Fahrzeugbauer deutlich. Der Anteil dieser Branche an den FuE-Aufwendungen der gesamten deutschen Wirtschaft stieg von 18 % im Jahr 1991 auf 33 % nur zehn Jahre später. In der Studie „Automobilstandort Deutschland“ (VDA u. a. 11/02) wird dieser Industriezweig als eine der bedeutendsten Wachstumsbranchen identifiziert.

Die Automobilindustrie ist eine der wenigen Branchen, in denen deutsche Unternehmen weltweit Technologieführer sind. Ähnlich ist die Lage bei der stark exportorientierten deutschen Kunststoffindustrie: Sie ist weltweit „Technologietreiber“ mit dem damit einhergehenden Wachstumspotenzial. Auch deutsche Kunststoffmaschinenbauer sind mit einem Weltmarktanteil von 23 % mit großem Abstand global die Nummer eins. Diese starken Branchen verbindet eine Fokussierung auf das markträchtige Innovationsfeld Leichtbau.

Der Fahrzeugbau ist mittlerweile der wichtigste Absatzmarkt für Leichtbauwerkstoffe geworden. Aber auch in der Verpackungsindustrie, im Bauwesen, im Maschinen- und Anlagenbau, für mobile technische Geräte (Notebookgehäuse aus Al-Legierungen) und bei Sport- und Freizeitausrüstungen ist das Leichtbaupotenzial bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Denn überall dort, wo Massen beschleunigt werden, stehen Werkstoffe für den Leichtbau im Mittelpunkt der Entwicklung, da die benötigten Kräfte, der Energieverbrauch und die Emissionen im Wesentlichen vom Gewicht abhängen. So ist der Luftfahrtbereich mit der Nutzung kombinierter

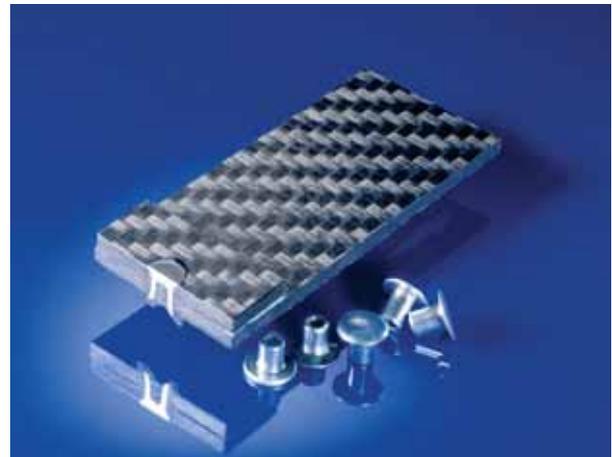
Metall-Kunststoff-Verbunde wie „Glare“ und der Entwicklung von großen kohlefaserverstärkten Kunststoff-Bauteilen (CFK) bis hin zum so genannten „Schwarzen Rumpf“ (kompletter Flugzeugrumpf aus CFK) ein Technologietreiber. Hier verbindet die Gewichtsreduktion, die auch auf neuen Bauweisen beruht, eine Schonung der Umwelt mit Passagierfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit. Konsequenter Leichtbau leistet somit einen wichtigen Beitrag zum nachhaltigen Wirtschaften.

Innovative Leichtbauwerkstoffe und -strukturen werden in der Industrie weiterhin an Bedeutung gewinnen. Man erforscht derzeit Verbundwerkstoffe aus mehreren Materialien mit zum Teil multifunktionalen Eigenschaften und entwickelt neuartige, intermetallische Legierungen, die die Vorteile keramischer und metallischer Werkstoffe vereinen. Sie sind bei hohen Temperaturen einsetzbar, leicht und extrem fest, trotzdem aber verformbar und zäh.

Leichtbau wird jedoch nicht durch leichte Werkstoffe allein ermöglicht: Gerade im automobilen Bereich kann eine ausgeprägte Hybrid- bzw. Modulbauweise neue Impulse liefern. Hierbei sind die

Fügen von CFK: Durch die Hybridfügetechnik (z. B. Kleben und Nieten) werden Vorteile einzelner Verfahren bezüglich der fertigungstechnischen Realisierung genutzt, die Qualität der Verbindung verbessert, die Fügbarkeit bei bestimmten Werkstoffen und Werkstoffkombinationen ermöglicht und/oder der Herstellungsaufwand minimiert.

Quelle: Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Bremen



Beispiele metallischen Leichtbaus bei Motor- und Fahrwerkskomponenten: Getriebegehäuse aus Magnesium, Pleuel aus Titan, Ventile und Turboladerrotoren aus Titanaluminid und Bremsscheiben aus partikelverstärktem Aluminium
Quelle: Daimler Chrysler

Module – beispielsweise großflächige Metall/Kunststoff-Bauteile – aus verschiedenen Werkstoffen aufgebaut und enthalten zusätzliche Funktionen. Herstellung und Verarbeitung von Hybridwerkstoffen erfordern allerdings auch neue, wirtschaftliche Prozesstechnologien und Fügeverfahren. Erst damit lässt sich das gesamte Leichtbaupotenzial ausschöpfen. Insofern beschränken sich die Beiträge der Materialforschung nicht auf die Entwicklung neuer Leichtbaumaterialien, sondern umfassen stets auch die Entwicklung angepasster Herstellungskonzepte (z. B. Mischbauweise, Funktionsintegration, Kernstrukturen, Direktverfahren) und neuer Fertigungstechniken (z. B. Thixogießen, Hydroformung, strukturelle Nähetechniken, Injektionstechniken, Fibre Placement, innovative Füge- und Klebtechniken). Dies schließt Aspekte der Langzeitstabilität sowie der aktiven und passiven Sicherheit mit ein.

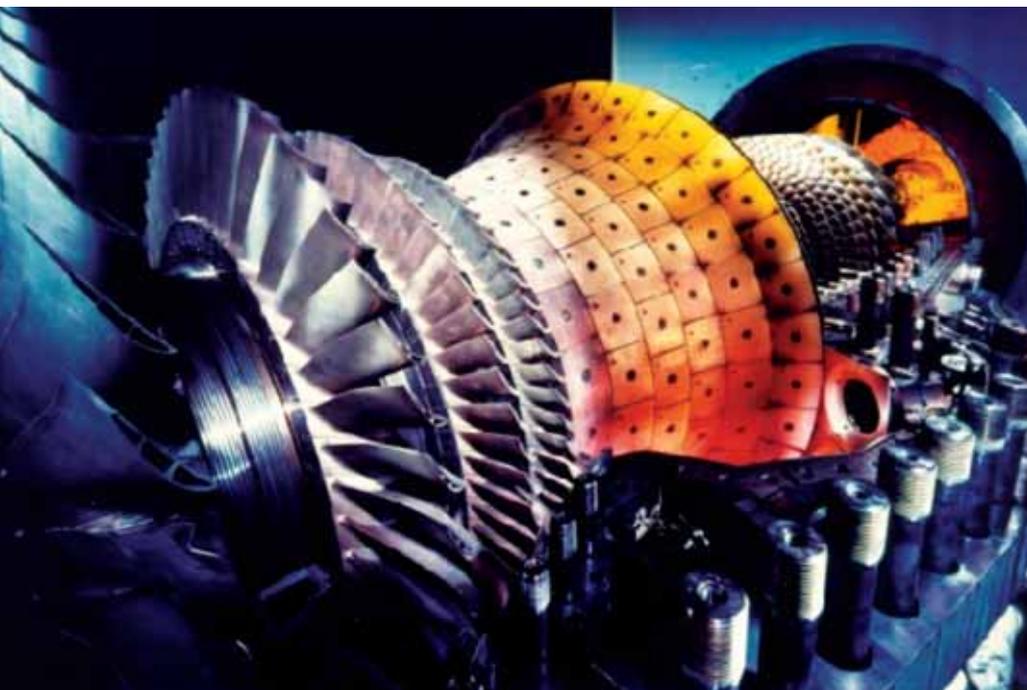
Am Markt sind nur geringe Kostensteigerungen durchsetzbar, der Einsatz von Leichtbauwerkstoffen darf also nicht teuer sein. Hier gilt es für den Hersteller, die Vorteile einer Gewichtsreduktion mög-

lichst mit wirtschaftlich tragfähigen Werkstoffen und Fertigungsprozessen zu realisieren. Life-Cycle-Analysen zur Gesamtbilanzierung des Bauteil-Lebenszyklus, von der Herstellung über die Anwendung bis zum Recycling, stellen eine wertvolle Beurteilung der jeweils ökonomisch und ökologisch günstigsten Variante im Vorfeld einer Komponentenentwicklung dar.

Alle potentiell einsetzbaren Werkstoffe für zukünftige Leichtbauanwendungen werden in einem ausgeprägten Wettbewerb zueinander stehen. Der massive Zwang zu Ressourceneinsparung und Gewichtsreduzierung bei vertretbaren Kosten wird diesen Wettbewerb untereinander fördern und zu weiteren technologischen Verbesserungen und Innovationen führen.

4.3.2. Ressourceneffiziente Werkstoffe – der Faktor-4-Ansatz

Neue Werkstoffe und chemische Verfahren bieten ein hohes Potenzial, industrielle Prozesse auf allen Wertschöpfungsebenen mit erheblich höherer Leis-



Innenansicht einer wirkungsgradoptimierten 60-Hz-Gasturbine V84.3A(2)
Quelle: Siemens Power Generation

tung bei gleichzeitig reduziertem Ressourceneinsatz (energetisch und stofflich) zu führen. Beispiele liegen nicht nur im Bereich der Verbrennungskraftmaschinen bei Fahrzeugen oder bei der Stromerzeugung durch Steigerung des Wirkungsgrades, sondern auch bei der Herstellung von Komponenten in der verarbeitenden Industrie oder bei der chemischen Verfahrenstechnik. Unter dem Gesichtspunkt der Leistungssteigerung industrieller Prozesse bei gleichzeitiger Reduktion von Energie- und Materialeinsatz wird die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie auch durch mehr Wirtschaftlichkeit erheblich gestärkt und natürliche Ressourcen geschont.

Bereits in der jüngeren Vergangenheit ließen sich durch die Verwendung hoch entwickelter Werkzeugwerkstoffe die Be- und Verarbeitungszeiten von Bauteilen erheblich senken, mit der Konsequenz einer höheren Wirtschaftlichkeit des gesamten Herstellverfahrens. Glasschneidemaschinen arbeiten mittels adaptiver Piezo-Werkstoffe nicht nur präziser, sondern auch schneller, wodurch Leistung und Qualität der Produkte jeweils um den Faktor 2 gesteigert werden konnten. Chemische Verfahren zur Herstellung von Grundstoffen lassen sich beispielsweise durch Katalysatoren und Mikroreaktionstechniken effizienter und sicherer durchführen und erzeugen gleichzeitig höherwertigere Produkte. Auch der Bürger erkennt beispielsweise durch langlebigere und wesentlich stromsparendere Beleuchtungssysteme, was Innovationen aus der Forschung für den alltäglichen Gebrauch zu leisten vermögen.

Ressourcensparende

Werkstoffe in der Stromerzeugung

Betrachtet man das Energieflussdiagramm Deutschlands wird deutlich, dass mit Stand von 2001 von den eingesetzten 100 % Primärenergie nur etwa 32 % als genutzte Energie in Form von Wärme, Strom oder Bewegung wirklich gebraucht werden. 68 % gehen bei den verschiedenen Energieumwandlungen, beispielsweise von der Stromerzeugung über Wärmebereitstellung bis zu den sich anschließenden tertiären Prozessen, verloren. Um den

Energieverlust möglichst zu minimieren, sind technologische Maßnahmen gefragt, mit denen insbesondere die Prozesse der Energiewandlung und -speicherung so effizient wie möglich durchgeführt werden können. Dazu notwendige energietechnische Innovationen werden zunehmend initiiert durch FuE-Ergebnisse anderer Forschungsdisziplinen wie beispielsweise der Werkstoffforschung.

Verbesserungen in den Werkstoffeigenschaften (Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit, Ermüdungsverhalten) haben eine große Hebelwirkung für die Effizienz der Stromerzeugung. So stieg unter Verwendung innengekühlter einkristalliner Turbinenschaufeln aus Nickelbasis-Superlegierungen in Kombination mit keramischen Wärmedämmschichten der Wirkungsgrad für gasbetriebene Kombi-Kraftwerke auf mittlerweile fast 60 %. Eine Steigerung des Wirkungsgrades fossil befeuerter Kraftwerke um 2,5 % hätte eine Minderung von 7 % CO₂ zur Folge. Auf alle Kraftwerke in Deutschland hochgerechnet ließen sich langfristig in Deutschland 26 Mio. t CO₂, weltweit etwa 1,5 Mrd. t CO₂, jährlich einsparen. Einen Beitrag dazu könnte eine weitere Verbesserung der Gas- und Dampfturbinenprozesse liefern, wobei durch die Erhöhung der Turbineneinlasstemperatur (ISO) auf 1.250 °C sowie durch die Steigerung des Dampfdruckes und der Dampftemperatur bei weiter sinkenden NO_x-Emissionen ein Wirkungsgrad von 60 % erreicht wird. Die Brennstoffausnutzung lässt sich noch weiter steigern, wenn die Abwärme der Dampfturbinen in einem Kraft-Wärme-Kopplungsprozess genutzt wird.

Der Beitrag der Materialforschung zu sehr viel energieeffizienteren und möglichst CO₂-minimierten Technologien erstreckt sich nicht nur auf die Stromerzeugung in fossil befeuerten Kraftwerken, sondern umfasst beispielsweise auch Wärmeschutzsysteme in Gebäuden, regenerative Energietechnologien oder geplante großtechnische CO₂-Abscheidungskonzepte.

Ein wesentlicher Schub für die rationelle Nutzung auch regenerativer Energieträger und zur effizienten

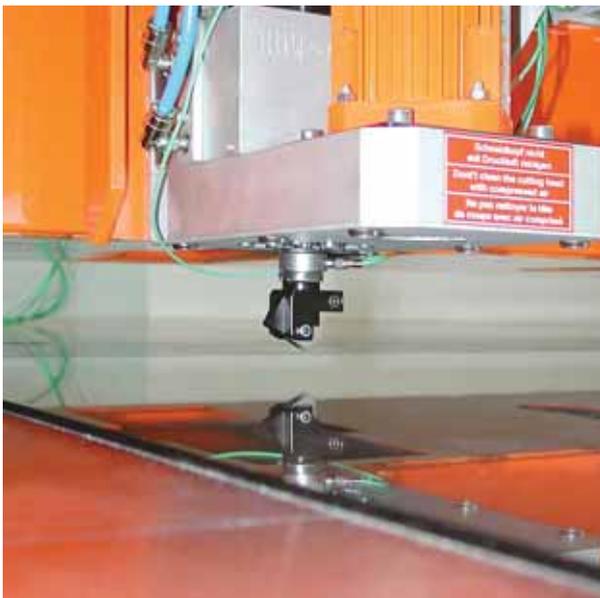
Energiewandlung und -speicherung wird von der Entwicklung kostengünstiger Brennstoffzellen und Stromspeicher erwartet. Dies erfordert werkstoffliche Modulentwicklungen wie beispielsweise neue Membranen für Brennstoffzellen und für Trenntechniken oder so genannte Supercaps (Doppelschichtkondensatoren) für schnelle Stromspeicher mit hoher Leistungsdichte. Darüber hinaus hat die Werkstoffforschung gerade auf dem Gebiet der Energietechnik wichtige Beiträge zur Beurteilung der Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit zu leisten.

Effizienzsteigerung im Maschinenbau

Neben Leichtbauaspekten und der Integration der Informationstechnik in den Maschinenbau profitiert diese Branche in ihrer Wirtschaftlichkeit insbesondere von langlebigen Werkzeugwerkstoffen, kostengünstigen Herstellverfahren, innovativen Fügetechnologien sowie von so genannten „intelligenten Werkstoffen“, die ein hohes Potenzial zur Energieeinsparung und Leistungssteigerung in vielen Fertigungsprozessen aufweisen. Der darin steckende Faktor-4-Ansatz wird im Folgenden am Bei-

Kraft geregelter Schneidkopf einer adaptiven Glasschneidemaschine: Verdopplung von Qualität und Geschwindigkeit durch die Verwendung eines Piezo-Werkstoffs

Quelle: Hegla, Beverungen



spiel eines MaTech-Projektes mit großer Breitenwirkung und bei weitem noch nicht ausgeschöpftem Anwendungspotenzial diskutiert:

Im BMBF-Leitprojekt „Adaptronik“ wurden piezoelektrische Keramiken (PZT-Keramiken) entwickelt, die als Fasern oder Folien in Produkten zum Einsatz kommen sollen. PZT-Keramiken eignen sich hervorragend für Schwingungsreduktionen in unterschiedlichen Technologien wie Verkehrstechnik (PKW, ICE), Medizintechnik (Geräuschminimierung bei MR-Tomographen), Raumfahrt (Satellitenstellung) aber auch im Maschinenbau.

Die Vorteile von Piezo-Keramiken im Maschinenbau wurden im Rahmen der Adaptronik-Förderung am Beispiel von Glasschneidemaschinen deutlich. Schlüsselerfolgsfaktoren für die Glasschneidetechnik sind Schneidgeschwindigkeit und Schneidqualität (Bruchqualität). Mithilfe der PZT-Elemente wird die Vibration gedämpft, wodurch ein präziseres Führen des Schneidekopfes möglich ist. Außerdem soll die Andruckkraft stets optimal ausgelegt sein, damit die Glasbruchkante keine Nachbearbeitung mehr erfordert. Damit ist es durch den Einsatz der Adaptronik möglich, eine doppelte Geschwindigkeit bei doppelter Qualität zu erreichen.

Die **Leitbild-Funktion des Faktor-4-Ansatzes** – doppelte Leistung mit halbiertem Ressourceneinsatz – kann konsequent auf viele industrielle Prozesse übertragen werden. Sie stärkt letztendlich die Innovationskraft der Unternehmen, führt zu höherer Wettbewerbsfähigkeit und erfüllt voll und ganz die Aspekte der Nachhaltigkeit (Verknüpfung von Innovationsprozessen mit Nachhaltigkeitsaspekten).

4.3.3. Intelligente Werkstoffe – regeln ohne Regler

Intelligente Werkstoffe sind Werkstoffe der Zukunft. Sie sind in der Lage, selbstständig auf äußere Einflüsse wie beispielsweise Temperaturänderung oder Lichtwechsel reagieren zu können, um damit ohne weitere Ansteuerung eine Aktion auszulösen.

Zu den intelligenten Werkstoffen gehören Piezo-Keramiken, Formgedächtnislegierungen, magnetostruktive Werkstoffe, aber auch intelligente Flüssigkeiten wie elektrorheologische und magnetorheologische Fluide.

Bei den Piezo-Keramiken wird durch eine Druckbelastung eine elektrische Spannung erzeugt bzw. durch Anlegen einer Spannung die Länge geändert. Formgedächtnislegierungen hingegen ändern bei einer einstellbaren Temperatur reversibel ihre Form. Weitere Beispiele sind Paraffine, die aufgrund eines Phasenwechsels als Wärmepuffer dienen können, sowie elektrorheologische Flüssigkeiten (ERF), die beim Anlegen eines elektrischen Feldes schlagartig fest werden.

Wenngleich bereits einige Produkte unter Verwendung intelligenter Werkstoffe auf dem Markt sind, so ist bis heute die angedachte Anwendungsbreite noch nicht erschlossen. Dort, wo Materialien bereits reif für den Markt sind, muss jetzt der Systemgedanke greifen, um neue Marktsegmente besetzen zu können.

Zu finden sind die intelligenten Werkstoffe in allen Bereichen des täglichen Lebens; so können thermochrome Kunststoffe in der Lebensmittelüberwachung eingesetzt werden. Eine Farbänderung im Kontrollfeld der Verpackung zeigt an, ob die Kühlkette unterbrochen wurde und ob das Lebensmittel noch haltbar oder schon verdorben ist.

Auch im Bereich Gesundheit werden intelligente Werkstoffe zunehmend wichtiger. Ein Ziel dabei ist, durch den Einsatz in der Prothetik wiederholte chirurgische Eingriffe zu vermeiden. Ein ganz anderes Anwendungsfeld ist hingegen die Haustechnik. Anwendungsreif sind bereits piezo-gesteuerte Lichtschalter. Die völlig frei platzierbaren Schalter senden bei Betätigung ein Funksignal, welches das Licht steuert. Der benötigte Strom wird nicht einer Batterie entnommen, sondern ausschließlich durch

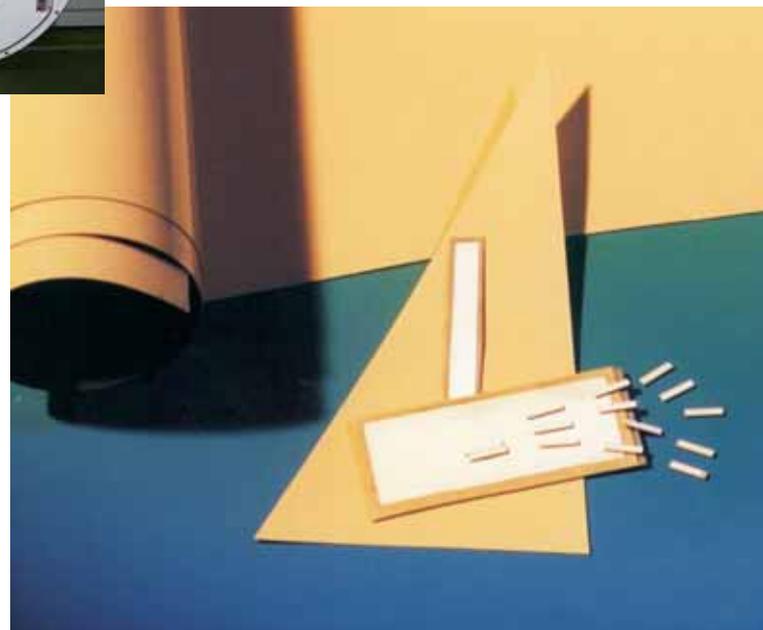
den Druck auf die PZT-Keramik erzeugt. Ein weiteres Beispiel sind die Formgedächtnislegierungen (FGL), die bei Niedrigenergiehäusern eingesetzt werden können. Geplant ist beispielsweise ein Einsatz bei Lüftungskappen, die dann automatisch bei einer bestimmten Temperatur öffnen bzw. schließen.

Die Mobilität steht heute schon im Fokus der Entwicklung bei dieser Werkstoffklasse. So gibt es bereits umfangreiche Untersuchungen zum Einsatz von PZT als Schwingungsdämpfer in Autos und Schienenfahrzeugen. Abgesehen vom zusätzlichen Komfort für die Passagiere reduzieren diese Maßnahmen auch die Lärmbelastung der Umwelt. Ebenso kommt der Umwelt der durch intelligente Werkstoffe ermöglichte Leichtbau und die damit



Links: PZT-Folien als Schwingungsdämpfungselemente aufgebracht auf den Trichter eines Magnetresonanztomographen. Die PZT-Folien bewirken eine erhebliche Geräuschdämpfung während der Patientenuntersuchung.
Quelle: DLR, Braunschweig

Unten: Piezo-elektrische Folien, ansteuerbar als Schwingungsdämpfungselemente
Quelle: Fraunhofer Gesellschaft

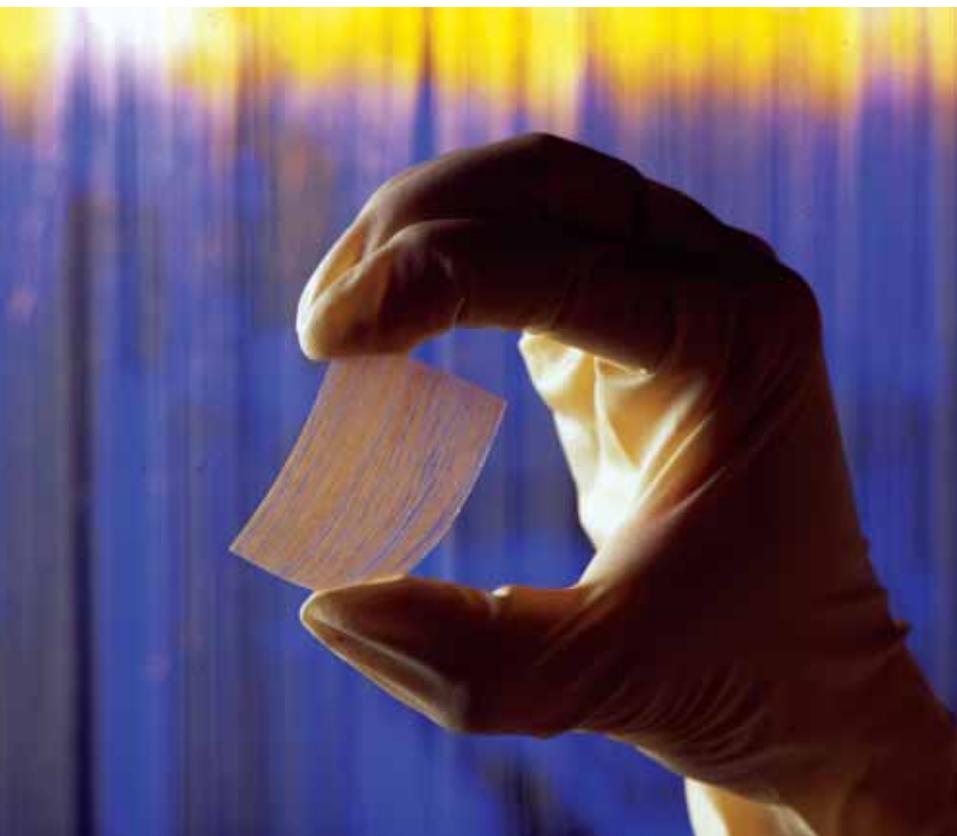


verbundene Kraftstoffersparnis zugute. Hier setzt auch ein Health Monitoring ein, das kritische Bauteile kontinuierlich überwacht und Schäden direkt detektiert. Somit können Bauteile ohne Sicherheits-einbußen einfacher konstruiert und müssen nicht regelmäßig, sondern erst bei Auftreten einer Schädigung ersetzt werden.

Wenngleich in den letzten Jahren große Fortschritte bei der Entwicklung der unterschiedlichen Materialklassen gemacht wurden, so ist das enorme Potenzial der intelligenten Werkstoffe bei weitem noch nicht ausgereizt. Beispielsweise weisen die piezo-elektrischen Materialien noch keine ausreichende Längendehnung auf, was eine breite Anwendung noch verhindert. Weiteres Optimieren der

Dünne, flexibel einlamierte Piezo-Fasern bilden die Vorstufe für Sensormodule

Quelle: Fraunhofer Gesellschaft



bekanntesten PZT-Materialien oder aber auch völlig neue, evtl. auch bleifreie, Keramiken könnten hier eine Lösung bieten. Bei den Fluiden ist die Schubspannung ebenso wie die Temperaturfestigkeit oder die Sedimentationsstabilität zu verbessern. Bei den Formgedächtnislegierungen könnte eine Materialentwicklung hin zu eisenbasierten Werkstoffen ein Forschungsschwerpunkt sein.

4.3.4. Elektromagnetische Funktionswerkstoffe – Motor der Informationsgesellschaft

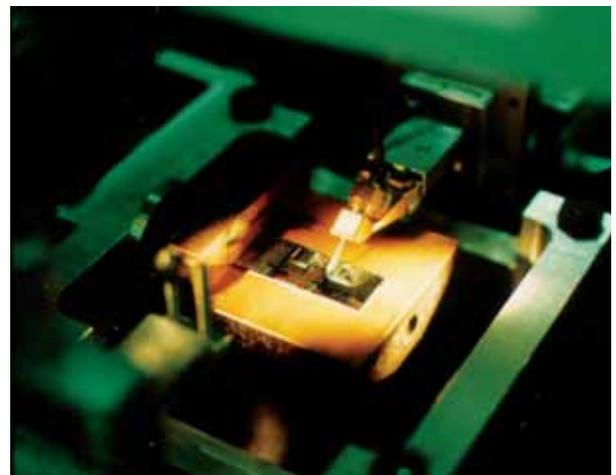
In den vergangenen zehn Jahren haben Werkstoffe mit besonderen elektronischen und magnetischen Funktionalitäten eine sehr dynamische Entwicklung erfahren und waren maßgebliche Schrittmacher für FuE-Entwicklungen in der Mikroelektronik und Sensorik. Unter anderem ist es der europäischen Wirtschaft gelungen, im Halbleitermarkt bedeutend aufzuholen und in der Entwicklung der Kommunikationstechnik eine weltweite Führungsrolle zu erlangen. Der Anteil an elektronischen und magnetischen Bauelementen im Automobilbau ist stetig gestiegen (Drive by Wire, ESP, Motormanagement, magnetoelektronische Sensorik für ABS und Lenksysteme). Seit dem Jahr 2000 befindet sich der Elektronikmarkt in einer tiefgreifenden Konsolidierungsphase.

Neben zu optimistischen Marktprognosen der Boomjahre des Neuen Marktes werden zunehmend physikalische Grenzen heutiger Material- und Technologiekonzepte erreicht und bedürfen neuer Lösungsansätze. Die bisherige Mikroelektronik entwickelt sich durch schrumpfende Dimensionen und höhere Funktionalitäten bei sinkenden Kosten zur Nanoelektronik. Zur weiteren Evolution ist die Integration neuer oxidischer Dielektrika zur Verringerung von Verlustleistungen und zur Transistorgate-Isolation notwendig. Die im-

mer höhere Integrations- und Leistungsdichte zukünftiger Chips wird neue Konzepte im Chip-Packaging erfordern. Die Materialien für das Chip-Packaging werden sich dabei von der heutigen passiven Hülle zu einem intelligenten funktionalen System entwickeln, um den Anforderungen (Kühlung, Abschirmung, Stabilität etc.) gerecht zu werden. Völlig neue Funktionalitäten konnten der Halbleiterelektronik durch die Magnetoelektronik erschlossen werden. Deren magnetische Werkstoffe, die lange Zeit als nicht in die Halbleitertechnologie integrierbar galten, sind mittlerweile erfolgreich in Si-CMOS integriert worden.

War in den letzten zehn Jahren die Entwicklung der Elektronik noch hauptsächlich von Miniaturisierung und Funktionsintegration getrieben, so geht nunmehr der Trend zu höherer Zuverlässigkeit und mehr Sicherheit bei gleichzeitig steigender Komplexität der technischen Architektur. So stellt die Forderung nach immer höherer Integration mit unterschiedlichen Werkstoffkonzepten eine enorme Herausforderung an die Systemintegration und deren Zuverlässigkeit dar. Beiträge zur Nachhaltigkeit durch Kreislauffähigkeit elektromagnetischer Werkstoffe wie bleifreie Lote, verbesserte Energieeffizienz und Gewährung der Langzeitarchivierbarkeit durch innovative Speicherkonzepte stellen weitere zentrale Anforderungen dar. Immer wichtiger wird auch die Entwicklung von Materialkonzepten zur Abschirmung elektromagnetischer Strahlung für den Gesundheitsschutz insbesondere für Mobilfunknutzer und in der Arbeitswelt sowie die Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) mit anderen technischen Systemen, beispielsweise in der Luftfahrt. Große Erwartungen werden in die Schnittstelle zwischen biologischen und technischen Systemen gelegt. So kann schon heute, zumindest in ersten Versuchen, einem begrenzten Kreis erblindeter Menschen mit einer künstlichen Netzhaut zum Erkennen schemenhafter Muster verholfen werden. In nächster Zeit könnten auch im privaten Haushalt Entwicklungen aus der Polymer-elektronik Anwendung in Kleidungsstücken („smart label“) finden. Es ließen sich dann intelligente

Waschmaschinen entwickeln, die auf Grundlage der von diesem Etikett kommunizierten Daten eine materialspezifische Dosierung des Waschmittels zur Schonung der Umwelt vornehmen. Radarsensorik aus elektrokeramischen Multilagenschicht-Verbünden könnte in Zukunft einen wichtigen Beitrag für Fahrerassistenzsysteme liefern und ein aktives Pre-Crash-Management im Fahrzeug ermöglichen. So würde diese Sensorik vorausschauende Daten lie-

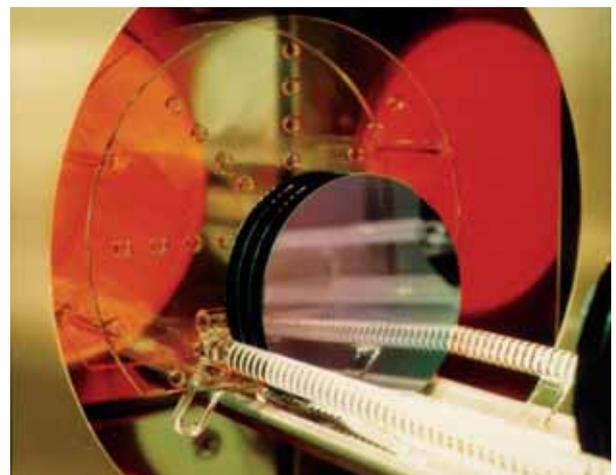


Kontaktierung von Strukturen für die Hochfrequenztechnik auf einem Silizium-Wafer

Quelle: Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik II, RWTH Aachen

Beladung eines Diffusionsofens mit elektrokeramischen Dünnschichten auf Silizium-Wafern

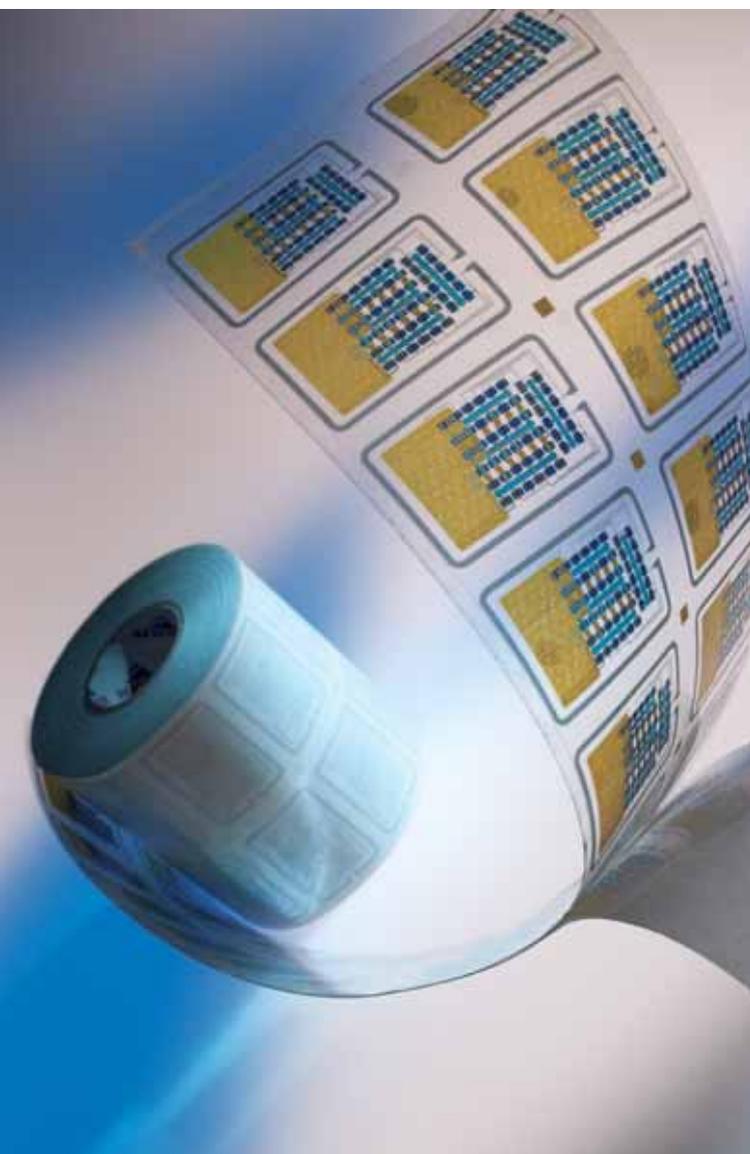
Quelle: Institut für Werkstoffe der Elektrotechnik II, RWTH Aachen



fern, um einen bevorstehenden Unfall frühzeitig zu erkennen und durch entsprechende Gegenmaßnahmen zu verhindern oder zumindest durch Einstellung intelligenter Materialien im Frontchassis die zu erwartenden Aufprallfolgen zu minimieren.

Chips von der Rolle: Polymerelektronik eröffnet den Weg zur Massenfertigung von Chips und neuen Konzepten für innovative Produkte des Alltags.

Quelle: Fraunhofer Gesellschaft



Keramische und metallische Materialien

Für die fortschreitende funktionelle Höchstintegration in Systemen der Kommunikations- und Verkehrstechnik müssen keramische Mehrlagenverbünde mit einem breiten Spektrum an Dielektrizitäts- und Permeabilitätszahlen kombiniert mit maßgeschneiderten Verarbeitungseigenschaften entwickelt werden. Angestrebte Entwicklungen zur Abstandssensorik und GHz-Signalübertragung bedürfen der Bereitstellung von Materialkonzepten mit steuerbarer Permittivität, um die schnelle Signalverarbeitung im breitbandigen Frequenzspektrum mit einem hohen Maß an Sicherheit zu gewährleisten.

Änderungen der Metallisierungssysteme in der Mikroprozessortechnik zur Erhöhung der Signalübertragungsraten und Verringerung der Verlustleistungen verlangen nach neuen Materialien mit extrem niedrigen Dielektrizitätszahlen (Air Gap). Gleichzeitig läuft die Miniaturisierung der Transistoren in der Chiptechnik auf eine physikalische Grenze zu und es werden high-k Gateoxide zur Erhöhung der flächenspezifischen Gatekapazität bei gleichzeitiger Vermeidung von Tunnelströmen gesucht.

Neue Werkstoffkombinationen mit dielektrischen und magnetischen Funktionseigenschaften könnten den bedeutenden Bereich der Leistungselektronik mit kleinsten und hochintegrierten Transformatoren langfristig sichern.

Auf Basis ferroelektrischer Oxide werden seit einigen Jahren nicht flüchtige Informationsspeicher entwickelt. Neue Synthese- und Abscheidungsverfahren könnten hier zu einem technologischen Durchbruch führen. Elektrokeramische Dünnschichten können in Zukunft auch das Wachstumsfeld im Bereich der Sensoranwendung in Form von elektronischen Spürnasen für Umwelt- und Gesundheitsschutz, Superkondensatoren für die Kurzzeitenergiespeicherung und zur Funktionalisierung klassischer Strukturbauteile durch Piezo-Aktorik finden.

Gelänge es, aus pyroelektrischen Oxiden preisgünstige hochauflösende Sensoren für Applikationen in der Bewegungs- und Wärmesensorik zu entwickeln, so könnten technische Prozesse wesentlich energieeffizienter betrieben werden.

Organische und biologische Materialien

Die Entwicklung von Polymeren mit definierten elektrischen Eigenschaften für die Polymerelektronik wird in Zukunft an Bedeutung gewinnen. So gibt es bereits erste Versuche, integrierte organische Schaltungen mit organischen Feldeffekttransistoren aus funktionalen Polymeren durch hochauflösende Drucktechniken zu prozessieren („disposable electronics“). Polymere Materialien eignen sich auch zum Aufbau von hochauflösenden und flachen Displays. Diese Bildschirme basieren auf organischen Leuchtdioden (OLED-Displays), wobei das Phänomen ausgenutzt wird, dass organische Halbleiter unter angelegter elektrischer Spannung Licht aussenden können und damit individuelle „Colour to Demand“-Anwendungen erlauben. In der Akustik stellen organische Entwicklungsansätze in Form von Schall- und Ultraschallwandlern auf der Basis neuer Piezo-Polymere mit großem piezoelektrischen Effekt ein wichtiges Technologiegebiet dar. Aufgrund der hohen Dämpfung des Materials und der geringen Dicke der Folien ist die Erzeugung breitbandiger Signale bis in den MHz-Bereich möglich.

Hybrid- und Kompositmaterialien

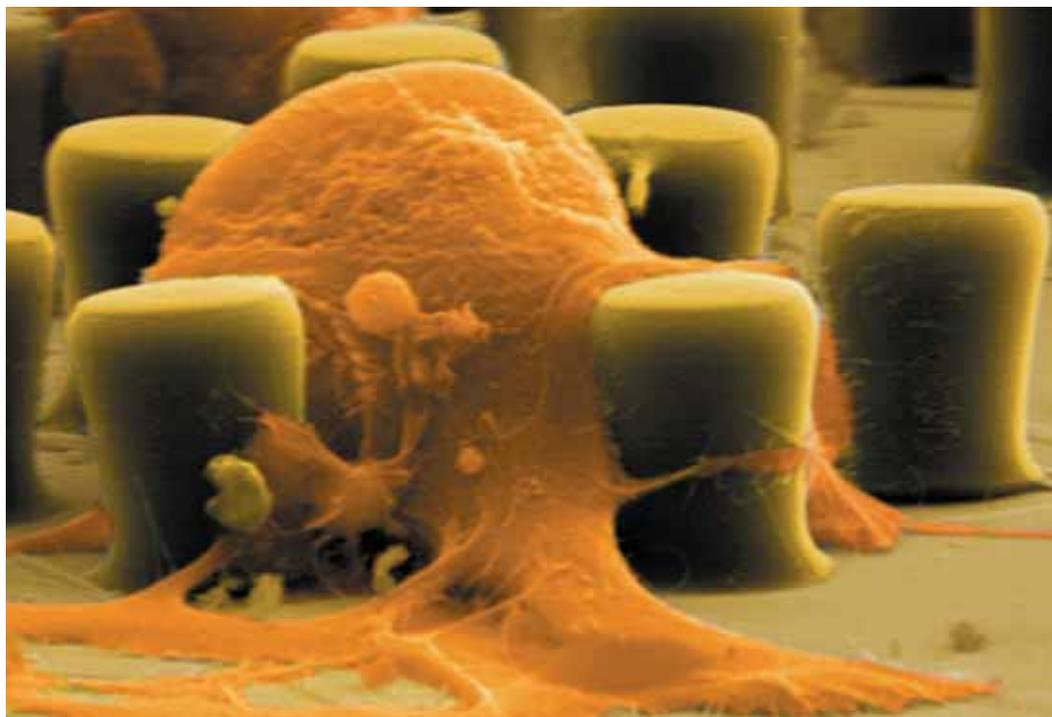
Die Vermeidung unerwünschter elektromagnetischer Emissionen ist sowohl aus Sicht des Gesundheitsschutzes der Bevölkerung als auch zur Gewährung der Zuverlässigkeit von technischen Systemen im Hinblick auf öffentliche technische Sicherheit wichtig. Entwicklungsansätze

stellen beispielsweise Ferrit-Kompositwerkstoffe dar, die hier ein gewisses Absorptionsverhalten aufweisen und/oder als photonische Bandgap-Strukturen mit gerichteten Strahlungscharakteristika gezielt zum Schutz vor EMV-Einflüssen genutzt werden.

Völlig neue Möglichkeiten beim Bau elektrischer Maschinen könnten sich durch die Entwicklung weichmagnetischer Kunststoff-Verbundwerkstoffe ergeben, die ein komplexes Eigenschaftsprofil aufweisen und zum Teil gegenläufige Eigenschaften wie hohe Permeabilität, geringe Ummagnetisierungs- und Wirbelstromverluste, hohe Wärmeleitfähigkeit bei guter elektrischer Isolationsfähigkeit sowie hohe mechanische und thermische Festigkeit bei Erhalt des rationalen Verarbeitungs- und Formgebungsverhaltens von Kunststoffen in sich vereinen.

Neurochip: Hybridsysteme der Zukunft.

Quelle: Prof. Dr. Peter Fromherz, Max-Planck-Institut für Biochemie



5. Durchführung des Programms

Die fachspezifischen Handlungsfelder des Förderprogramms beschreiben exemplarisch wichtige Themenbereiche, die in ihrer Umsetzung hohe volkswirtschaftliche Effekte durch Werkstoffinnovationen erwarten lassen. Aufgrund des bewusst offen gestalteten Programmrahmens können sich, bedingt durch wissenschaftlich-technische, industriepolitische oder gesellschaftliche Entwicklungen, weitere Themengebiete oder neue Prioritäten ergeben, die im Laufe des Programms verstärkt bearbeitet werden können. In der Umsetzung des Programms werden die jeweils aktuellen Handlungsfelder durch spezifische Bekanntmachungen geöffnet. Daneben sollen im so genannten Bottom-up-Verfahren, d. h. außerhalb von Bekanntmachungen, terminlich und thematisch offen Werkstoffprojekte in Wirtschaft und Wissenschaft gefördert werden, die in besonderer Weise die Kriterien des Programms erfüllen.



Die Erfahrung zeigt, dass Projekte im Rahmen des Programms häufig auf Forschungsergebnisse der institutionellen Grundlagenforschung aufbauen. Um Synergieeffekte möglichst umfangreich und frühzeitig zu nutzen, sollen die institutionellen Forschungsaktivitäten mit den projektspezifischen Fördermaßnahmen des Programms verzahnt und insbesondere mit der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) abgestimmt werden.

5.1. Förderinstrumentarium

Kernelement der Förderung ist die bewährte Verbundforschung zwischen Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und Forschungsinstitutionen, d. h. das arbeitsteilige Zusammenwirken mehrerer FuE-Partner zur Erreichung eines gemeinsamen Entwicklungszieles. Diese Verbundvorhaben sollen ein risikoreiches, anwendungsorientiertes Projektziel mit Aussicht auf eine spätere marktwirtschaftliche Umsetzung verfolgen, das möglichst Aspekte der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales) berücksichtigt. Die Federführung dieser industriellen Verbundvorhaben soll durch einen Industriepartner wahrgenommen werden.

Für die Bemessung der Förderquote bei der industriellen Verbundforschung gelten die nationalen Vorschriften sowie der Gemeinschaftsrahmen für staatliche FuE-Beihilfen, die zur Zeit (Stand: 2003) folgende Abstufungen vorsehen:

- bis 50 % für die FuE-Stufe „industrielle Forschung“,
- bis 25 % für die FuE-Stufe „vorwettbewerbliche Entwicklung“.

Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU im Sinne der jeweils aktuellen Richtlinien der EU-Kommission) kann die Förderquote um bis zu zehn Prozentpunkte erhöht werden. Ein weiterer Bonus in Höhe von bis zu zehn Prozentpunkten kann für Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, mit der jeweils

ausführenden Stelle in den neuen Bundesländern, gewährt werden. Die beiden Boni können bis maximal 15 Prozentpunkte kumuliert werden. Hochschulen und vergleichbare Institute, die auf Ausgabenbasis abrechnen, können in der industriellen Verbundforschung mit bis zu 100 % gefördert werden. Davon unabhängig wird bei industriellen Verbundvorhaben, unter Beteiligung von Forschungsinstituten der öffentlichen Hand, eine Mitfinanzierung der institutionellen Aufwendungen durch die Industrie in Form von Barmitteln oder Absenkung der Förderquote bei den Industriepartnern erwartet.

In Ausnahmefällen können Institutsverbände mit grundlagenorientierten FuE-Zielen und mit visionärem industriellen Entwicklungspotenzial in Projekten mit bis zu 100 % gefördert werden. Eine industrielle Begleitung dieser Institutsverbände ist erforderlich. Mit dem übergeordneten Ziel eines beschleunigten Technologietransfers sollen mit einem spezifischen Förderinstrument so genannte „WING-Zentren“ eingerichtet werden, die in Anbindung an kompetente Mutterinstitute reifes Werkstoff-Know-how für den Transfer in die industrielle Praxis, insbesondere in KMU, vorbereiten. Die Ziele und Aufgaben der WING-Zentren werden in themenorientierten Bekanntmachungen festgelegt und reichen z. B. von der Netzwerkbildung über die materialtechnische Ausbildung von industriellen Mitarbeitern bis hin zur Entwicklung von Demonstratoren für prototypische Bauteile. In Abhängigkeit von der fachlichen Ausrichtung, des Aufgabenspektrums sowie der jeweiligen Marktsituation kann die Überführung in die Selbstständigkeit eine Zielsetzung für WING-Zentren werden.

5.2. Förderverfahren und Förderkriterien

Neben dem terminlich und thematisch weitgehend offenen Bottom-up-Verfahren werden übergeordnete Förderthemen bzw. Handlungsfelder, die Leitinnovationscharakter haben, über Bekanntmachungen im Bundesanzeiger ausgeschrieben. Die eingereichten Projektvorschläge werden begutachtet und stehen im Wettbewerb zueinander.

Vorbehaltlich abweichender Regelungen in den Bekanntmachungen gelten zur Bewertung der Projekte insbesondere die folgenden Kriterien:

- Beitrag zur Stärkung der Innovationskraft der Unternehmen,
- Berücksichtigung des gesellschaftlichen Bedarfs,
- Berücksichtigung der Aspekte der Nachhaltigkeit,
- Hebelwirkung der jeweiligen Materialentwicklung für die industrielle Anwendung,
- Innovationshöhe und Risiko der vorgesehenen FuE-Ziele,
- Kompetenz der Partner und angemessene Projektstruktur,
- volkswirtschaftlicher Gesamtnutzen des Projektes.



Über ein mehrstufiges Auswahlverfahren soll der administrative Aufwand auf Seiten der Antragsteller möglichst begrenzt werden.

5.3. Begleitende Programmentwicklung

Das BMBF wird bei der weiteren Programmentwicklung, insbesondere bei der inhaltlichen Gestaltung der Bekanntmachungen, von möglichst unabhängigen Experten beraten. Gegebenenfalls wird vom BMBF ein Strategiekreis berufen, in dem die Programmziele und Förderinstrumentarien sowie die inhaltlichen Themen in gewissen Zeitabständen überprüft und orientierend an aktuellen gesellschafts- und industriepolitischen Entwicklungen und Bedürfnissen neu festgelegt werden können.

Nach fünf Jahren Programmlaufzeit soll eine externe Evaluation durchgeführt werden, die im Rahmen einer Wirkungsanalyse die Programmziele sowie die Zielerreichung bewertet und Handlungsempfehlungen für zukünftige Fördermaßnahmen ausspricht.

5.4. Internationale Zusammenarbeit

Internationale Kooperationen eröffnen für die deutsche Wirtschaft nicht nur die Möglichkeit des Know-how-Transfers zum gegenseitigen Nutzen, sondern sollen langfristig auch einen Beitrag zur Unterstützung der Wirtschaftsbeziehungen deutscher Unternehmen leisten. Möglichkeiten zur Kooperation orientieren sich inhaltlich an den Handlungsfeldern bzw. Bekanntmachungen im Programm. Die Formen der Zusammenarbeit reichen von bilateralen Kooperationen im vorliegenden Programmrahmen, wobei ausländische Partner gegebenenfalls als Unterauftragnehmer eines deutschen Industriepartners eingebunden werden können, über Wissenschaftler austauschprogramme bis zu multilateralen Kooperationen auf europäischer Ebene. Die Idealvorstellung von bilateralen FuE-Kooperationen besteht aus so genannten 2+2-Projekten, d. h. der Teilnahme eines institutionellen und industriellen Partners aus jedem Land.

Die europäischen Forschungsprogramme, wie beispielsweise das in 2003 aktuelle 6. Rahmenprogramm der EU, stellen zum Teil erhebliche Mittel für Werkstoff- und nanotechnologische Projekte zur Verfügung. In europäischen Initiativen, wie beispielsweise in EUREKA, finanzieren die Industriepartner ihre Projekte aus Eigenmitteln bzw. in Ausnahmefällen aus den jeweils nationalen Technologieprogrammen. Weiterführende Informationen zu den internationalen Kooperationsmöglichkeiten auf dem Gebiet der Werkstofftechnologie sind im Anhang beschrieben.

5.5. Ansprechpartner

Mit dem fachlichen und administrativen Fördermanagement von FuE-Projekten im Rahmen des Programms „WING – Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft“ hat das BMBF den Projektträger Jülich, Geschäftsbereich NMT, beauftragt. Der Projektträger begleitet die spezifischen Fördermaßnahmen, berät die Antragsteller in der Projektvorbereitung, bereitet Förderentscheidungen z. T. unter Einbeziehung von Gutachterkreisen vor, betreut die Projekte fachlich und finanztechnisch und prüft Verwendungsnachweise und Verwertungspläne nach Abschluss der Projekte im Hinblick auf die mittelfristige Umsetzung der FuE-Ergebnisse.

Vor der Projektdefinition empfiehlt sich eine Kontaktaufnahme mit dem Projektträger:

Forschungszentrum Jülich GmbH
Projektträger Jülich, Geschäftsbereich NMT
52425 Jülich
Tel.: 0 24 61/61 48 40
Fax: 0 24 61/61 23 98
E-Mail: nmt@fz-juelich.de
Internet: www.fz-juelich.de/ptj

Weiterführende Informationen zum Programm, insbesondere zu aktuellen Bekanntmachungsthemen, werden vom Projektträger laufend unter der oben angegebenen Internetadresse veröffentlicht.

Anhang

A1 Außeruniversitäre Aktivitäten in der Materialforschung

Das föderale System der Bundesrepublik Deutschland eröffnet sowohl dem Bund als auch den Ländern in ihren jeweiligen Aufgabenbereichen die Möglichkeit der Förderung der deutschen institutionellen Forschungslandschaft, wobei sich die Länder insbesondere auf die Finanzierung der universitären Forschung bzw. der Hochschulforschung konzentrieren. Darüber hinaus wirken Bund und (Sitz-)Land bei der Förderung von Einrichtungen und Vorhaben der wissenschaftlichen Forschung von überregionaler Bedeutung zusammen. Dies entspricht der gemeinsamen Verantwortung von Bund und Ländern für die Forschung, die in vielen Fällen ein aufeinander abgestimmtes und am gesamtstaatlichen Interesse orientiertes Handeln erfordert.

Viele der wichtigsten Akteure der deutschen außeruniversitären Forschungslandschaft, wie beispielsweise die Zentren der Hermann-von-Helmholtz-Gemeinschaft (HGF), die Max-Planck-Gesellschaft (MPG), die Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) und die Einrichtungen der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried-Wilhelm-Leibniz (WGL), werden gemeinsam durch Bund und Länder gefördert.

Während für die Finanzierung der Hochschulen und deren Institute das jeweilige Bundesland verantwortlich ist, hat der Bund die institutionelle Förderung der HGF zu 90 %, die Grundfinanzierung der WGL sowie der Max-Planck-Gesellschaft zu jeweils 50 % und wesentliche Anteile der Finanzierung der Fraunhofer-Gesellschaft übernommen.

An den Universitäten besteht in der Materialwissenschaft eine außerordentli-

che Vielfalt, die sowohl natur- und ingenieurwissenschaftliche Grundlagenforschung als auch anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung umfasst und damit viele Möglichkeiten für interdisziplinäre Forschungsstrategien eröffnet. Materialforschung an den Universitäten ist häufig eng verknüpft mit der Lehre am jeweiligen Hochschulstandort. Auch im außeruniversitären Bereich eröffnet sich ein breites materialwissenschaftliches Spektrum, von den Grundlagenarbeiten der Max-Planck-Gesellschaft bis hin zu den anwendungsorientierten Entwicklungsarbeiten der Fraunhofer-Institute.

Sowohl in der universitären als auch in der außeruniversitären Materialforschung setzen sich die Trends fort, zum einen stärker projektspezifisch in Verbundvorhaben mit der Industrie zu arbeiten und zum anderen die Vernetzung von institutioneller und projektspezifischer Materialforschung zu erreichen.



Im Folgenden sind materialforschungsrelevante Beiträge der außeruniversitären Forschungseinrichtungen beschrieben:

Max-Planck-Gesellschaft, MPG
<http://www.mpg.de>

Die Grundfinanzierung der MPG erfolgt zu jeweils 50 % durch den Bund und das Sitz-Land. Die materialwissenschaftlich orientierten MPG-Institute sind konzentriert auf die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen und Sachsen-Anhalt; Teile des MPI für Plasmaphysik, Garching, sind als Außenstellen ansässig in Greifswald und Berlin. Die MPG ist z. T. in institutsübergreifenden Forschungsinitiativen wie der Gruppe „Materialforschung an der Neutronenquelle FRM-II“ in Garching hochgradig interdisziplinär tätig.

MPI für chemische Physik fester Stoffe
Dresden, CPFS

Das erst 1995 gegründete MPI CPFS befasst sich in der experimentell arbeitenden Kompetenzgruppe Materialentwicklung mit der Aufgabe, neue Verbindungen mit hochkorrelierten elektronischen und/oder magnetischen Eigenschaften zu synthetisieren. Im Vordergrund stehen intermetallische Verbindungen auf Basis von Ce, Yb oder U sowie Oxide auf Cu-, V- oder Ti-Basis, die mit aus der Halbleiterindustrie bekannten Methoden zu Einkristallen ver-



arbeitet werden. Ein weiterer Schwerpunkt beschäftigt sich mit der Aufklärung der Triebkräfte der Biomineralisation.

MPI für Eisenforschung GmbH Düsseldorf,
MPIE

Das als GmbH der Gesellschafter MPG und dem Verein Deutscher Eisenhüttenleute geführte MPIE befasst sich mit der interdisziplinären Grundlagenforschung auf dem Gebiet von Eisen, Stahl, verwandten Werkstoffen und Intermetallics. Dabei wird der Prozess von der Gewinnung der „Rohstoffe“ ganzheitlich bis zum (umgeformten) Produkt betrachtet, d. h., es können sowohl chemische als auch physikalische Einflüsse während der Herstellung und Verarbeitung auf das Material und damit auf die späteren Bauteileigenschaften beurteilt werden.

MPI für Plasmaphysik Garching im Verbund
mit den Außenstellen Plasmadiagnostik,
Berlin, und dem Teilinstitut Greifswald, IPP

Ein entscheidender Beitrag für die mögliche Entwicklung eines künftigen Fusionskraftwerkes ist die Bereitstellung geeigneter Materialien. Dieses betrifft sowohl die Wandungen wie auch die notwendige Peripherie wie Heizungen oder Magnete. In diesem Feld bewegt sich die Gruppe PLASMA/MATERIALS des IPP, wobei die erforderlichen Materialeigenschaften im Umfeld der Anwendung, d. h. unter Berücksichtigung der Magnetfeldtechnik und der daraus resultierenden Plasma-Wand-Wechselwirkung, definiert und zielgerichtet entwickelt werden können. Das IPP ist gleichzeitig Mitglied der HGF.

MPI für Kolloid- und Grenzflächenforschung
Golm bei Potsdam, MPI KGF

Kolloidale Systeme mit in einer festen, flüssigen oder gasförmigen homogenen Phase dispergierten Partikeln in Größenordnungen von wenigen Nanometern bis zu etwa einem Mikrometer bilden eine Brücke zwischen einzelnen Molekülen und makroskopischen Systemen, wobei hier oft auch von mesoskopischen Systemen gesprochen wird. Aus dieser Betrachtung kolloidaler Systeme wird deutlich, dass

sich die frühe Orientierung des MPI KGF auf dieses Feld als richtungsweisend auch für die Nanotechnologie erwiesen hat, denn diese kann nur mit einem tieferen Verständnis der Grenzflächenphänomene in Systemen mit sehr großen inneren Oberflächen zielorientiert vorangetrieben werden.

MPI für Mikrostrukturphysik Halle an der Saale, MPI-Halle

Das MPI-Halle konzentriert sich vornehmlich auf von kleinen Dimensionen, Oberflächen und Grenzflächen beeinflusste Festkörperphänomene. Dabei können diese dünne Schichten, Oberflächen, nanokristalline Materialien usw. sein, die vornehmlich als Funktionsmaterialien in der Sensorik, Mikroelektronik und Optoelektronik eingesetzt werden. Für die Verbesserung funktionaler Eigenschaften will das Institut durch die Korrelation von magnetischen, elektronischen, optischen und mechanischen Eigenschaften von Festkörpern und deren Mikrostruktur beitragen.

MPI für Mathematik in den Naturwissenschaften Leipzig, MIS

Am MIS werden z. T. ähnliche Fragestellungen wie am MPI-Halle bearbeitet, wobei hier mathematische Modelle für verschiedenste Probleme entwickelt werden. Im Einzelnen sind das Fragen rund um Mikrostrukturen, Mikromagnetismus, Homogenisierung, Phasenübergänge, Defektstrukturen, Grenzflächen und dünne Schichten. Dabei gibt es keine Einschränkung auf bestimmte Materialklassen, wenngleich „neuartige“ Materialien wie Flüssigkristalle einen Interessenschwerpunkt bilden.

MPI für Polymerforschung Mainz, MPIP

Schon die Aufzählung der Arbeitskreise Materialforschung, Theorie der Polymere, Synthetische Chemie, Polymerspektroskopie und Festkörperchemie sowie der assoziierten Arbeitsgruppe Oberflächenforschung zeigt die Vielzahl der polymerspezifischen Arbeiten am MPIP. Neben der maßgeschneiderten Synthese steht auch die Neu- und Weiterentwicklung verschiedener Methoden der Polymercharakterisierung im Vordergrund des Inter-

esses. Dabei wird auch das schwer fassbare Thema der Ermittlung von Kenngrößen von Polymernetzwerken intensiv bearbeitet.

MPI für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr, MPI-Mülheim

Bekannt ist das MPI für Kohlenforschung für die bahnbrechenden Arbeiten von Fischer und Tropsch sowie von Ziegler, welche die Basis des auch heute definierten übergeordneten Zieles bilden, nämlich der Entwicklung neuer Methoden zur selektiven und umweltfreundlichen Stoffumwandlung. Fokussiert auf dieses gemeinsame Ziel ergänzen sich die Arbeitsgruppen zur synthetischen organischen Chemie, zur heterogenen und homogenen Katalyse, zur metallorganischen Chemie und zur Theorie gegenseitig.



MPI für Festkörperforschung Stuttgart (mit Außenstelle in Grenoble, Frankreich), FKF

In experimentell wie theoretisch arbeitenden Gruppen wird in engem Zusammenspiel aus Physik und Chemie an kondensierter Materie geforscht, wobei sich Forschungsschwerpunkte auf Halbleiter und Keramiken richten. Viele Arbeiten sind in einem grundlagenorientierten, stark explorativem Stadium angesiedelt, die eher mittel- bis langfristige Anwendungsperspektiven eröffnen. Ein besseres Verständnis zwischen Struktur und Eigenschaft kann Optimierungspotenziale oder gänzlich neue Eigenschaften und Anwendungen erschließen.

MPI für Metallforschung Stuttgart, MF

Das Max-Planck-Institut für Metallforschung befasst sich in den Abteilungen Metallurgie, Mikrostrukturphysik und Umformtechnik, Werkstofftechnik, Physikalische Metallkunde und Grenzflächenchemie und Oberflächentechnik mit interdisziplinärer Grundlagenforschung auf dem Gebiet von Eisen und Stahl und verwandten Werkstoffen bis hin zu intermetal-

lischen Verbindungen. Forschungsgegenstand sind die Vorgänge bei der Herstellung, Umformung und chemischen Behandlung, deren Wirkung auf die Ausbildung von Gefüge und Oberflächenstrukturen sowie wiederum deren Einfluss auf die mechanischen und chemischen Eigenschaften der Werkstoffe. Die Arbeiten sollen das grundlegende Verständnis der Phänomene vertiefen mit dem Ziel, Herstellung, Eigenschaften und Anwendbarkeit der Werkstoffe weiterzuentwickeln.

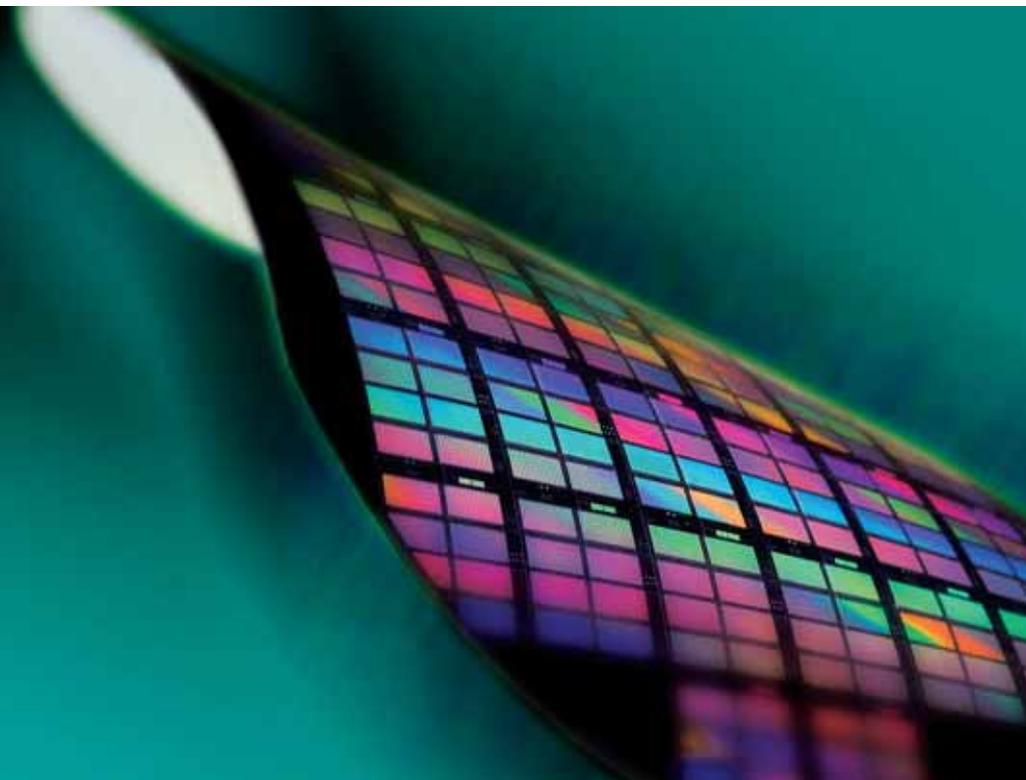
Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz, WGL

<http://www.wgl.de>

Gemäß ihres Leitspruches „Theoria cum praxi“ findet sich die WGL an der Schnittstelle zwischen universitärer Grundlagenforschung und angewandter industrieller Forschung. Die WGL-Institute mit erheblichem Bezug zur Materialforschung sind innerhalb der Wissenschaftsgemeinschaft in die Sektion D, Mathematik, Natur- und Ingenieurwissenschaften, eingruppiert. Neben den experimentell tätigen Einrichtungen

finden sich hier auch sehr wichtige Informationsorgane, namentlich die Technische Informationsbibliothek Hannover, das Fachinformationszentrum Karlsruhe und das Fachinformationszentrum Chemie in Berlin.

Neben den unten näher beschriebenen Instituten sind auch die hier ungenannten Einrichtungen in Querschnittsbereichen an der Materialforschung beteiligt. Die beiden Dresdener WGL-Institute bilden zusammen mit dem Forschungszentrum Rossendorf, Instituten der FhG, der Max-Planck-Gesellschaft, der TU Dresden und der IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH den Materialforschungsbund Dresden (<http://www.mfd-dresden.de>).



Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung m.b.H., BESSY

BESSY II in Berlin-Adlershof stellt nicht nur die für verschiedenste Anwendungen genutzte Synchrotronstrahlung zur Verfügung, sondern stellt auch sein Know-how in den Dienst der Nutzer, die vornehmlich aus den Bereichen Materialforschung, Mikrostrukturierung, Analytik und Radiometrie stammen.

Forschungszentrum Rossendorf, FZR

Das Forschungszentrum Rossendorf betreibt anwendungsorientierte Grundlagenforschung mit den fachübergreifenden Forschungsschwerpunkten Materialforschung, Biomedizin-Chemie, Umwelt und Sicherheitsforschung und Kernphysik. Ein Teil der Aufgaben wird dabei an einem Messplatz am European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) in Grenoble wahrgenommen, wobei diese Messstrecke wie auch das Ionenstrahlzentrum in Rossendorf von der EU gefördert werden. Mit der Fertigstellung des Großgerätes ELBE (Elektronenbeschleuniger mit hoher Brillanz und niedriger Emittanz) wird eine Vielzahl verschiedener Analysensonden (kohärente elektromagnetische Strahlung im mittleren und fernem Infrarotbereich von 5–150 µm, quasi-monochromatische Röntgenstrahlung zwischen 0,1 und 30 keV sowie Bremsstrahlung im MeV-Bereich und damit produzierte Neutronen) erschlossen werden.

Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden, IFW

Das über gemeinsame Lehrstühle eng mit der TU Dresden verknüpfte IFW spannt den werkstoffwissenschaftlichen Bogen von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung. Dieses spiegelt sich auch in der Institutsstruktur wider, welche experimentell, theoretisch oder analytisch ausgerichtet sind. Geprägt durch den Standort Dresden ist einer der Forschungsschwerpunkte im Bereich IuK angesiedelt, wobei viele der Arbeiten jedoch auch Bestandteile anderer Disziplinen sind. Die Forschungsschwerpunkte im Einzelnen sind u. a. Supraleitung und Supraleiter, Magnetismus und Magnetwerkstoffe, konjugierte Kohlenstoffsysteme, metastabile Legierungen und Schichtwerkstoffe der Elektronik.

Institut für Neue Materialien Saarbrücken, INM

Das INM verfolgt bereits seit 1990 Fragestellungen rund um die chemische Nanotechnologie. Mittlerweile verfügt das Institut über mehr als 60 patentierte Basistechnologien, die z. T. bereits erfolgreich industriell umgesetzt wurden. Gemeinsam mit der Universität Kaiserslautern betreibt das INM unter dem Namen „Funktionalität durch Chemie“ eines von sechs Kompetenzzentren zur Nanotechnologie. Darüber hinaus unterstützt es KMU, sowohl auf nationaler wie auch europäischer Ebene bei der Umsetzung der INM-Basistechnologien in marktfähige Produkte.

Institut für Polymerforschung Dresden, IPF

Am IPF wird in den Teilinstituten Makromolekulare Chemie, Physikalische Chemie und Physik der Polymere sowie Polymerwerkstoffe die gesamte Prozesskette der Polymersynthese und -verarbeitung einschließlich deren Charakterisierung abgebildet, wobei einer der Schwerpunkte auf In-situ-Analytik gelegt wird, aus der wichtige Rückschlüsse der Eigenschaften aus der Vorgeschichte des Polymers erwartet werden. Neben grundlagenorientierten analytischen und synthetischen Arbeiten ist das IPF auch eine wichtige Transferstelle des aufgebauten Know-hows in die Industrie.

Fraunhofer-Gesellschaft, FhG

www.fhg.de

Insgesamt betreibt die Fraunhofer-Gesellschaft 56 Forschungseinrichtungen in der Bundesrepublik und beschäftigt 11.000 Mitarbeiter. Eine Strukturierung und Fokussierung erhalten die Forschungsarbeiten durch die sechs Institutsverbände „Mikroelektronik“, „Oberflächentechnik/Photonik“, „IuK“, „Produktion“, „Life Science“ und „Werkstoffe/Bauteile“ sowie die vier Themenverbände POLO (Polymere Oberflächen), Hochleistungskeramik, numerische Simulation und FAST (Advanced Simulation). Im Forschungsfeld „Materialien“ haben sich elf Institute zum „**Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile**“ zusammengeschlossen (<http://www.iwm.fhg.de/verbund/bauteile.html>).

Der Verbund deckt die Werkstoffklassen der Polymere, Keramiken, Gläser, metallischen Legierungen, Verbundwerkstoffe, nachwachsenden Rohstoffe und biomimetischen Werkstoffe ab. Es werden Herstellungs-, Be- und Verarbeitungsverfahren von der Pulvermetallurgie über die Klebtechnik bis zur Füge-technologie angewandt. Fast in allen Forschungs- und Entwicklungsprojekten kommt den Themen Zuverlässigkeit und Simulation eine zentrale Bedeutung zu. Die Entwicklungsarbeiten zielen auf Anwendungen in nahezu allen wichtigen Schlüssel-technologiefeldern, wie dem Maschinenbau, der Verkehrs- und Umwelttechnik, der Optik, der Mikroelektronik sowie der Medizintechnik. Die Werkstoff-Forschungsaktivitäten der Fraunhofer-Gesellschaft umfassen die gesamte Wertschöpfungskette von der Entwicklung neuer Werkstoffe bis zur Bewertung des Einsatzverhaltens von Bauteilen.

Helmholtz-Zentren, HGF

www.helmholtz.de

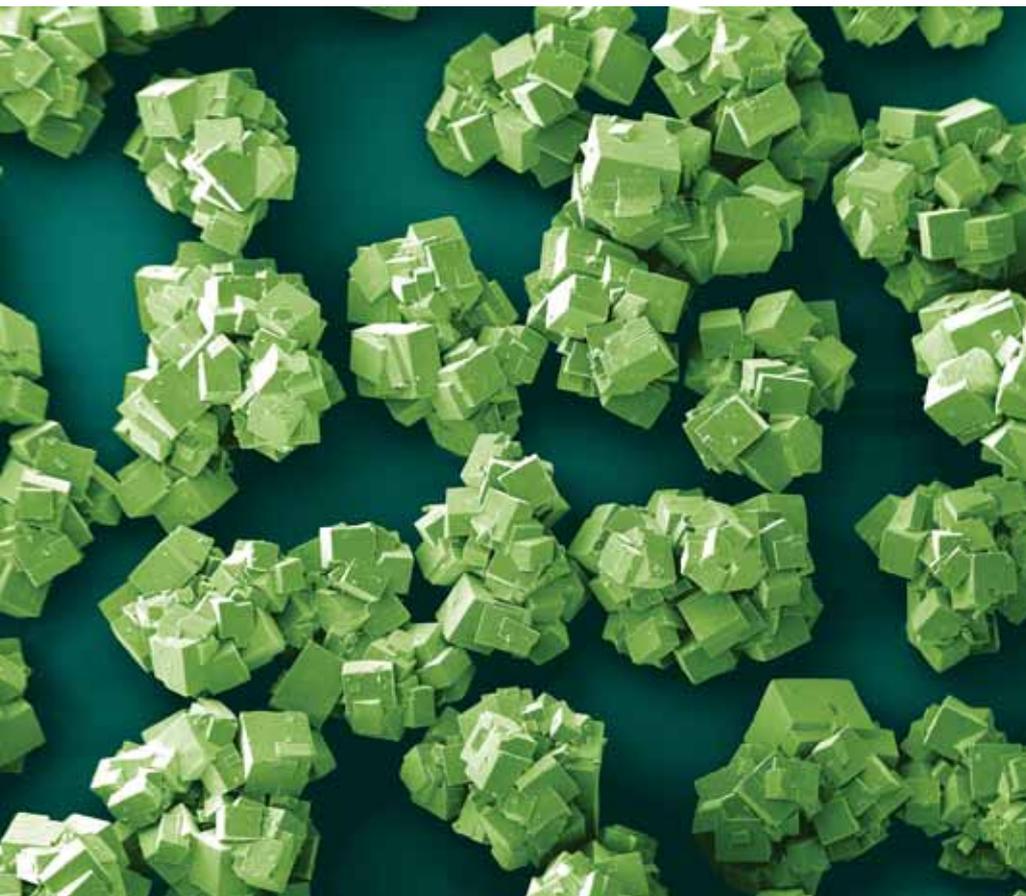
Zu den wichtigsten Aufgaben der HGF zählen zum einen der Betrieb von Großgeräten und zum anderen die Forschung auf Gebieten mit längerfristigen Realisierungspotenzialen und an Themen, die erheblicher finanzieller Aufwendungen bedürfen und nur durch ein interdisziplinäres Netzwerk mehrerer Institute erfolgreich angegangen werden können. Die FuE-Aktivitäten an den 15 HGF-Forschungszentren befinden sich derzeit in einer grundlegenden Neuorientierungsphase (Programmorientierte Förderung). Die HGF unterhält enge Industriekooperationen mit namhaften internationalen Konzernen.

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht

www.gkss.de

Neben der Küstenforschung bilden Leichtbauwerkstoffe, Medizintechnik und Trenntechnologie die Programmschwerpunkte der GKSS. In enger Zusammenarbeit mit Hochschulen und Anwenderindustrie werden am Institut für Werkstoffforschung und am Institut für Chemie innovative Leichtbaumaterialien und Polymersysteme erforscht, entsprechende Verarbeitungsverfahren entwickelt und Modellierungen von Werkstoffsystemen zum besseren Verständnis von Werkstoff- und Bauteileigenschaften durchgeführt.

Zurzeit laufen am Kompetenzzentrum für Magnesiumtechnologie intensive Arbeiten zur Legierungsentwicklung, um Magnesiumwerkstoffe für Anwendungen, beispielsweise im Bereich der Karosserie und des Innenraums von Fahrzeugen, für Tragstrukturen im Flugzeugbau oder für schnell bewegte Bauteile von Hochleistungswerkzeugmaschinen, zu qualifizieren. Die



TiAl-Materialentwicklung zielt insbesondere auf Hochtemperaturwerkstoffe in Gasturbinen und Flugtriebwerken (z. B. Turbinenschaufeln), aber auch in Verbrennungsmotoren (z. B. Ventile). Für diese neuartigen Leichtmetalllegierungen werden auch die notwendigen Herstellungs- und Produktionstechniken (z. B. Pulver- und Gießtechnologie) bis zum Prototyp-Bauteil entwickelt. Einen Schwerpunkt bilden dabei Fügetechnologien, die auch für Aluminiumlegierungen im Flugzeugbau (z. B. Schweißen statt Nieten von Stringern) qualifiziert werden. Weitere Arbeiten dienen der Entwicklung von Leichtmetall-Wasserstoffspeichern sowie von Verschleiß- und Korrosionsschutzbeschichtungen auf der Basis von nanokristallinen Metall-Keramik-Verbundwerkstoffen.

Ein zweites Forschungsgebiet bilden funktionale Polymere. Hier finden hauptsächlich Arbeiten zu stimuli-sensitiven Polymersystemen (intelligente Werkstoffe) für Sensoren, selbstreparierende Bauteile und schaltbare Membranen statt. Polymerbasierte Werkstoffe für Membranen zielen auf Anwendungen in der chemischen Verfahrens-, Pharmazie- und Energietechnik (Brennstoffzelle). Für Leichtbau-Strukturbauteile werden Multikomponentensysteme auf Polymerbasis entwickelt.

Im Gebiet der regenerativen Medizin finden bei GKSS entwickelte Polymer- und Leichtmetallwerkstoffe ihre Anwendung (z. B. Titanlegierungen für künstliche Herzklappen, Herstellung mittels Metallpulver-Spritzguss). Die Werkstoffcharakterisierung wird durch die bei GKSS vorhandenen und auf materialwissenschaftliche Fragestellungen ausgerichteten Neutronenstromethoden unterstützt. In Kooperation mit DESY soll künftig auch verstärkt die Synchrotronstrahlung für die Werkstoff- und Bauteilentwicklungen genutzt werden. Weiterhin stehen eine umfangreiche mechanische Prüfmethodik und chemisch-strukturelle Analytik wie auch die Untersuchung des Korrosionsverhaltens zur Verfügung. Die hierbei gewonnenen Daten liefern die Berechnungsgrundlage für die Modellierung von Werkstoffsystemen auf Längenskalen vom Atom und Molekül bis

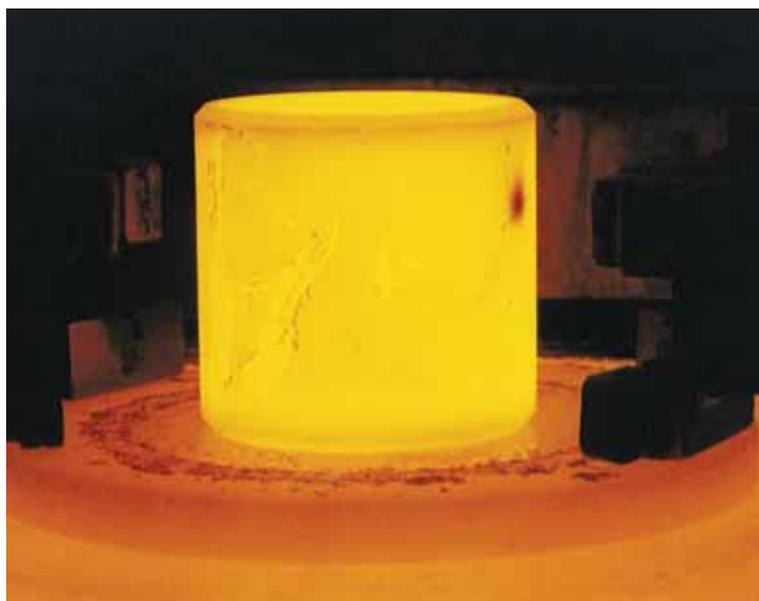
zum Verhalten des kompletten Bauteils bzw. des Produktionsprozesses unter realen Bedingungen.

Die GKSS-Forschungsaktivitäten umfassen somit die gesamte Wertschöpfungskette von der Materialentwicklung über die Produktions- und Verarbeitungstechnologien bis hin zum technischen Bauteil bzw. zum Produktionsprozess.

Forschungszentrum Jülich, FZJ **www.fz-juelich.de**

Die Forschungsschwerpunkte des FZJ sind Materie, Energie, Information, Leben und Umwelt. Bezüglich Werkstoffforschung fokussieren die FZJ-Aktivitäten innerhalb der HGF insbesondere auf die Themenfelder Energie und Informationstechnik.

Die Werkstoffentwicklung im Forschungsbereich Energie zielt auf die Herstellung langzeitstabiler und kostengünstiger keramischer und metallischer Werkstoffe für Anwendungen, bei denen oft extreme Einsatzbedingungen (z. B. hohe Temperaturen, korrosive Umgebung) herrschen. Schwerpunkte bilden Hochtemperaturwerkstoffe und Werkstoffverbünde für Anwendungen vor allem in Brennstoffzellen, in Gas- und Dampfkraftwerken



(z. B. Wärmedämmschichten für Turbinenschaufeln), aber auch in Fusionsreaktoren. In diesem Zusammenhang sind Korrosionsforschung und Analytik unverzichtbare Disziplinen. Vor allem werden für Brennstoffzellen Kontaktierungen und Elektroden entwickelt, welche die Leistung und Lebensdauer der Brennstoffzelle weiter erhöhen. Für Schutzschichten werden entsprechende Diffusionsbarrieren untersucht, die die Langzeitbeständigkeit und Zuverlässigkeit dieser Systeme sicherstellen sollen. Darüber hinaus gibt es Forschung an hochtemperaturbeständigen C/SiC-Verbundwerkstoffen, NiTi-Formgedächtnis-Legierungen und Metallen mit funktioneller Porosität. Im Bereich der Photovoltaik werden Werkstoffe für Dünnschichtsolarzellen ent-

wickelt, die den Wirkungsgrad und die Alterungsbeständigkeit erhöhen.

Auch im Forschungsgebiet Information hat die Herstellung und Charakterisierung von Materialien eine große Bedeutung. So werden für die Entwicklung von nicht flüchtigen Speichern (MRAM bzw. FeRAM) keramische Dünnschichten mit ferroelektrischen oder superparaelektrischen Eigenschaften benötigt. In der Halbleitertechnologie und Bauelementephysik werden neue Konzepte für zukünftige elektronische Bauelemente entwickelt, die zum Teil auf neuen physikalischen Prinzipien beruhen (Ein-Elektron-Transistor, Quantenbauelemente). Die Epitaxie von Schichten klassischer III/V-Verbindungen

und von Gruppe-III-Nitriden sowie Untersuchungen von elektronischen und optischen Eigenschaften dieser Halbleitermaterialien sind von großer Bedeutung für die Hochfrequenz- bzw. Optoelektronik. Anwendungen liegen in der weiteren Miniaturisierung von Transistoren, der Beleuchtungstechnik, Hochtemperaturelektronik und HF-Leistungselektronik. Die Forschung an Schichtsystemen für die Mikro- und Optoelektronik umfasst auch leitende Polymere für Leuchtschirme und Low-cost-Elektronik.

Im Forschungsgebiet Materie gibt es materialforschungsspezifische Aktivitäten, beispielsweise bei der Untersuchung der strukturellen und dynamischen Eigenschaften von Polymersystemen mit Hilfe der Neutronenstreuung. Die Nanopartikelsynthese in Mizellen, die Entwicklung intelligenter Polymere zur Herstellung selbstheilender Kunststoffe und die Untersuchung komplexer Flüssigkeiten für Bauelemente mit steuerbarer Viskosität stellen weitere Aktivitäten dar. In der Mikro-



strukturforschung werden das Wachstums- und Relaxationsverhalten von nano-strukturierten Halbleitern untersucht. Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Quasikristalle sowie die Untersuchung von Kristallwachstum und Oberflächenstrukturen, die bei bestimmten chemischen Reaktionen (Katalysatoren, Korrosion) oder bei dem Verständnis der Reibung eine Rolle spielen.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR, www.dlr.de

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt konzentriert seine FuE-Aktivitäten auf die Themen Luft- und Raumfahrt sowie Energie und Verkehr. Für diese vier Forschungsgebiete entwickelt das DLR auch entsprechende Werkstoffe und Werkstofftechnologien. Neben Al-Legierungen, ihrer Verbindungstechnik und ihrem mechanischen Verhalten im Hinblick auf erhöhte Leistungsfähigkeit und Sicherheit werden für den Strukturbereich von Flugzeugen, Helikoptern und Raumtransportsystemen neue Kohlenstofffaserverstärkte Polymere (CFK) untersucht und auf optimiertes elastisches und Crash-Verhalten ausgelegt. Diese Forschungsarbeiten werden vermehrt durch Untersuchungen an anorganisch-organischen Hybridsystemen ergänzt. Für höhere Temperaturen in den Antrieben (Fluggas turbine, Raketenmotor, Verbrennungsmotor), bei Raumtransportgeräten für den atmosphärischen Wiedereintritt und speziellen Fragestellungen der Energietechnik (stationäre Gasturbine, SOFC, Solar-receiver) werden Titanlegierungen und SiC-Titanmatrix-Verbundwerkstoffe, Wärmedämm-, Oxidationsschutz- und andere metallische/keramische Funktionsschichten sowie schadenstolerante keramische Verbundwerkstoffe auf Oxid- und Nichtoxid-Basis entwickelt. Zur Verbesserung des adaptiven Werkstoff- und Bauteilverhaltens sind Werkstoffe der Sensorik und Adaptronik für unterschiedliche Temperaturbereiche in Entwicklung. Die speziellen Bedingungen gravitationsarmer Weltraumexperimente werden für grundlegende Untersuchungen der Eigenschaften und des Erstarrungsverhaltens insbesondere metallischer Schmelzen genutzt.

Forschungszentrum Karlsruhe, FZK www.fzk.de

Das Forschungszentrum Karlsruhe betreibt eine umfangreiche Materialforschung, die integraler Bestandteil der Forschungsprogramme Umwelt, Kernfusion, Nukleare Sicherheit, Mikrosystemtechnik, Nanotechnologie, Rationelle Energieumwandlung und Struktur der Materie ist. Die werkstoffkundlichen Arbeiten erstrecken sich von Grundlagenuntersuchungen zur kondensierten Materie über Struktur-Wirkungsbeziehungen in der Nanotechnologie bis hin zu einer anwendungsorientierten materialwissenschaftlichen Forschung in der Mikrosystemtechnik, Umwelttechnik und Kernfusion. Die Institute auf dem Gebiet der Materialforschung verfügen über modernste Untersuchungs- und Analysemethoden.

Im Themenfeld kondensierte Materie wird der Einfluss der Struktur von Oberflächen, Grenzflächen und Schichten auf elektronische Eigenschaften, Magnetismus und Supraleitung untersucht. In der Nanotechnologie wird über materialwissenschaftliche Entwicklungen zur Synthese und Untersuchung von nanostrukturierten Materialien mit anwendungsrelevanten grenzflächenbestimmten Eigenschaften und zur Korrelation zwischen der Struktur und den nanoskaligen Systemeigenschaften geforscht. Die Mikrosystemtechnik ist mit der Entwicklung von Materialien und Fertigungstechnologien zur Herstellung mikrosystemtechnischer Bauelemente aus Kunststoffen, Metallen und Keramiken verbunden. Werkstoffkundliche Beiträge des Bereiches Umwelttechnik sind die Entwicklungen von Funktions- und Katalysatorschichten für die Wasserstoff- bzw. Kohlenwasserstoffoxidation sowie für Wasserstoffnachreinigungssysteme. Für die Arbeiten zur Kernfusion werden niedrigaktivierbare, strahlungsresistente Stähle und supraleitende Materialien entwickelt. Im Forschungsfeld rationelle Energieumwandlung werden Hochtemperatur-Supraleiter für die Energietechnik untersucht.

Gesellschaft für Schwerionenforschung, GSI www.gsi.de

Hauptarbeitsgebiete der GSI sind kern- und atomphysikalische Experimente, aber auch materialwis-

senschaftliche Forschung zu Supraleitern, zu Membranentwicklungen und zu Ionenstrahlinduzierten chemischen und physikalischen Prozessen in Materialien.

Hahn-Meitner-Institut Berlin, HMI
www.hmi.de

Am HMI werden hauptsächlich die Schwerpunkte „Strukturforschung“ und „Solarenergieforschung“ bearbeitet. Ziel der Forschungsarbeiten ist es, neue Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen den technischen Eigenschaften eines Materials und seiner mikroskopischen Struktur zu erhalten. In der Abteilung Werkstoffe wird die Entwicklung von Leichtmetallmassivgläsern, Nanokompositen und Metallschäumen betrieben. Außerdem eröffnen die umfangreichen analytischen Methoden ein größeres Kooperationspotenzial für Materialentwicklungen innerhalb und außerhalb der HGF. So stehen Möglichkeiten für Neutronen-Kleinwinkelstreuung, Synchrotron-Tomographie und Eigenspannungsanalyse mit Neutronen und Synchrotronstrahlung zur Verfügung. Gegenstand der Charakterisierungsarbeiten sind derzeit Superlegierungen, nanoskalige Keramiken, Magnetofluide und thixotrope Metalllegierungen.

Weitere HGF-Aktivitäten beziehen sich am Deutschen Elektronen-Synchrotron auf die Materialanalytik und am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik auf plasmabelastete Werkstoffe für die Kernfusion.



A2 Förderung der Materialforschung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft

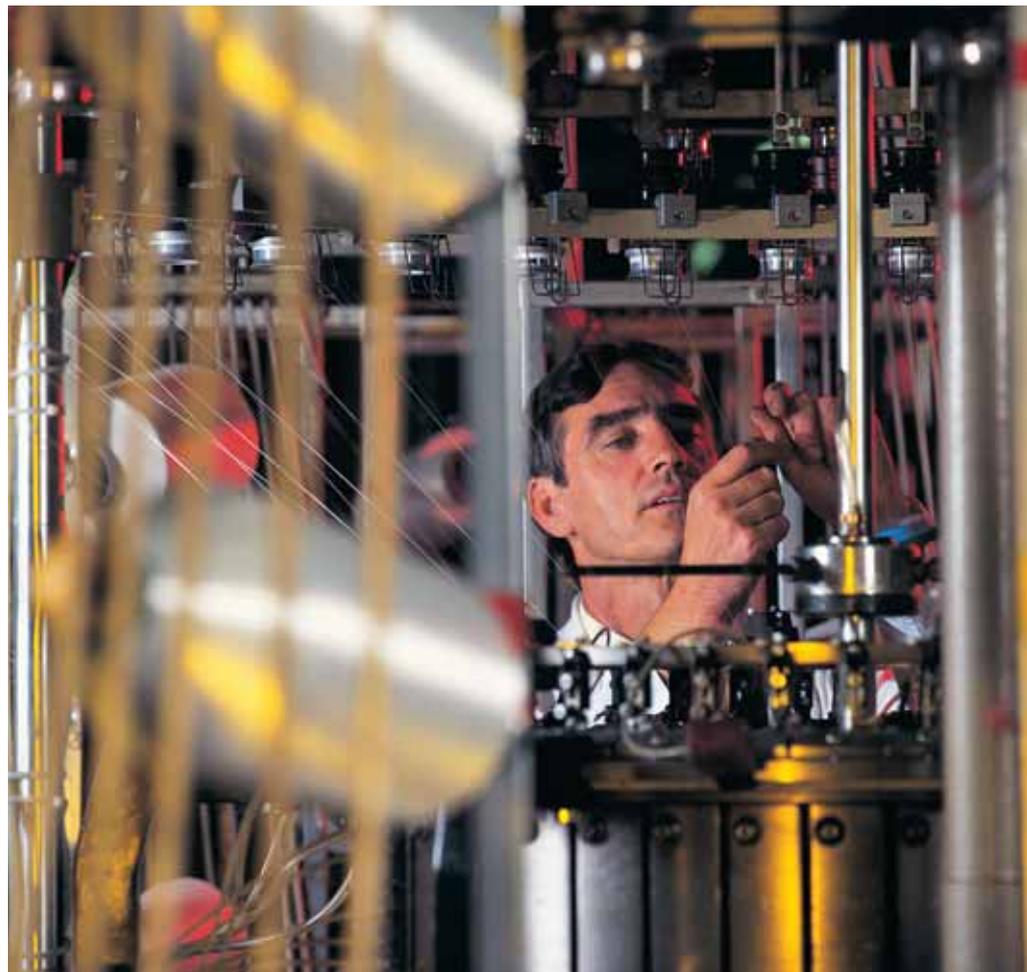
Die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert die institutionelle Forschung an universitären und außeruniversitären Einrichtungen mit großer wissenschaftlicher Breite und unterschiedlichen Förderinstrumentarien. Bei der DFG ist die Materialforschung kein eigenständiges Fördergebiet; Projekte und Programme finden sich sowohl bei den Naturwissenschaften als auch im ingenieurwissenschaftlichen Bereich.

Im Bereich der **Ingenieurwissenschaften** wurden auf dem Gebiet der Material- und Werkstoffwissenschaften im Zeitraum 2000 bis 2002 rund 60 Mio. Euro an Fördergeldern aufgewendet. Diese verteilen sich auf die Einzelförderung im Normalverfahren, die Schwerpunktprogramme, die Forschergruppen und die Sonderforschungsbereiche. Schwerpunkte der Aktivitäten in den letzten Jahren sind besonders auf dem Gebiet der Optimierung von Biomaterialien und Implantatwerkstoffen und bei den Konstruktions- und Funktionswerkstoffen, den Sinter- und Verbundwerkstoffen sowie in den Bereichen der Oberflächen, Beschichtungen und Funktionsschichten festzustellen. Besondere Erfolge zeigten sich bei den interdisziplinären Schwerpunktprogrammen, insbesondere auch im Hinblick auf die Bedeutung der Grundlagenforschung für die Umsetzung in der Anwendung. Ein anschauliches Beispiel hierfür ist das im September 2001 abgeschlossene Schwerpunktprogramm „Gradientenwerkstoffe“, das auf einem gemeinsamen Abschlusskolloquium von DFG und BMBF zur Weiterfinanzierung unter Industriebeteiligung durch das BMBF aufgegriffen und im Rahmen von MaTech weiter gefördert wurde. Weitere Schwerpunktprogramme zu den Themen „Zelluläre metallische Werkstoffe“, „Grenzfläche zwischen Werkstoff und Biosystem“, „Phasenumwandlungen in mehrkomponentigen Schmelzen“ sowie „Integrierte elektrokeramische Funktionsstrukturen“ zeigen international anerkanntenswerte Resultate, die wichtige Impulse für zukunftssträchtige Entwicklungen hervorbringen

können. Besondere Fortschritte bei den ingenieur-/materialwissenschaftlichen Sonderforschungsbereichen sind auf den Gebieten der „Formgedächtnistechnik – Grundlagen, Konstruktion, Fertigung“ aus Bochum, der „Hochbeanspruchten Gleit- und Friktionssysteme auf Basis ingenieurkeramischer Werkstoffe“ aus Karlsruhe, der „Thermisch hoch belasteten sowie der offenporigen und gekühlten Mehrschichtsysteme für Kombi-Kraftwerke“ aus Aachen sowie im SFB „Elektrische Ermüdung in Funktionswerkstoffen“ in Darmstadt zu verzeichnen.

Im Bereich der **Festkörperphysik** fließen jährlich rund 25 Mio. Euro in die Förderung von Vorhaben auf dem Gebiet der Materialwissenschaften. Ein erfolgreicher Weg zu modernen Materialien und Werkstoffen mit neuen Eigenschaften und Anwendungen führt über die Reduzierung der Längenskala zur Nanotechnologie. Dazu gehören beispielsweise „Halbleiter-Heterostrukturen für Laser und rauscharme Transistoren“, „Heterostrukturen aus nicht magnetischen und ferromagnetischen Metallen“, die u. a. für Leseköpfe verwendet werden, sowie „dielektrische Heterostrukturen für Mikrokavitäten und hoch reflektierende Spiegel“. Einer neuen Herausforderung stellt sich dabei die Leipziger Forschergruppe „Architektur von nano- und mikrodimensionalen Strukturelementen“. Anders als bisher sollen Nanopartikel nicht nur in einfachen planaren, sondern in komplexen, dreidimensionalen Strukturen verwendet werden. In diese Thematik reiht sich auch das neu eingerichtete Schwerpunktprogramm „Nanodrähte und Nanoröhren: von kontrollierter Synthese zur Funktion“ ein, dessen Ziel in der Erarbeitung neuer, nicht kohlenstoffbasierter Nano-

strukturen liegt, deren Anwendung in der Nanotechnologie neue Einsatzbereiche eröffnen könnte. Die wissenschaftliche Herausforderung und Breite dieser Thematik spiegelt sich auch in den in Kooperation mit Chemikern und Ingenieuren definierten Forschungsfeldern des im Herbst 2001 in Karlsruhe eingerichteten DFG-Forschungszentrums „Funktionelle Nanostrukturen“ wider, zu denen nanostrukturierte Materialien, molekulare Nanostrukturen, Nanoelektronik und -photonik gehören. Informationsverarbeitung mit winzigen magnetischen Speichern gehört zu den weltweit immer noch wachsenden Forschungsschwerpunkten. Physikalisch interessante Herausforderungen bieten derzeit lithographisch hergestellte magnetische Partikel mit Submikrometer-Abmessungen für Spei-



cher- und Sensoranwendungen und die Halbleiter-Spintronik. Diesen Fragestellungen widmet sich die Regensburger Forschergruppe „Ferromagnet-Halbleiter-Nanostrukturen: Transport, magnetische und elektronische Eigenschaften“, zu deren international viel beachteten Ergebnissen die Entdeckung des spin galvanischen Effekts zählt. Zentrale Forderungen der Informationsverarbeitung sind hohe Speicherdichte und kurze Schaltzeiten. Daher ist das Verständnis der Dynamik von schnellen Magnetisierungsprozessen in magnetisch geordneten Schicht- und Mikrostrukturen sehr wichtig. Grundlagen für ultraschnelle Magnetoelektronik-Bauelemente werden im Schwerpunktprogramm „Ultraschnelle Magnetisierungsprozesse“ untersucht. Ein bedeutender Durchbruch auf der Suche nach einem Arbeitsspeicher mit Langzeitgedächtnis gelang im Rahmen der Hallenser Forschergruppe „Oxidische Grenzflächen“. Dünne Schichten aus einem ferroelektrischen Material wurden auf Silizium so aufgebracht, dass eine Steigerung der Speicherkapazität von Computerchips um fast 50 % möglich erscheint. Eine wichtige Rolle für magnetische Speicher spielen dünne Filme mit einer Struktur von magnetischen Wirbeln. Die Spins im Zentrum der Wirbel konnten erstmalig im Rahmen des Hambur-



ger SFBs „Quantenmaterialien – laterale und hybride Strukturen“ mit einer neuen Variante der Rastertunnelmikroskopie abgebildet werden.

Wissenschaftliche Herausforderungen gibt es ebenfalls in der Erzeugung von kohärentem Licht im sichtbaren Spektralbereich. Die optische Speicherung von Information in CD und DVD, die Nachrichtenübermittlung oder die optische Darstellung von Information im Laser-Flachbildschirm sind uns alle interessierende Anwendungsgebiete. Einer Arbeitsgruppe in Bremen ist es im 2003 abgeschlossenen Schwerpunktprogramm „Gruppe-III-Nitride“ als erster universitärer Gruppe in Europa gelungen, blaue Laser auf der Basis von Galliumnitrid zu realisieren. Im weiteren Feld der Optik in Halbleitern ist eine starke Bündelung von Aktivitäten in Forschergruppen zu beobachten, die auf Teilen des oben erwähnten und anderer früherer Schwerpunktprogramme aufbauen. In Erlangen steht das Materialsystem Siliziumkarbid im Vordergrund, in Marburg werden neuartige metastabile Verbindungshalbleiter und ihre Heterostrukturen verwendet, und in einer ortsverteilten Forschergruppe (Rostock, Bremen, Würzburg, Marburg, Dortmund) geht es um quantenoptische Effekte in Halbleiternanostrukturen. Eine weitere interessante Materialklasse stellen die Ferroika dar. Aufgrund ihrer außergewöhnlichen Eigenschaften der Symmetrieveränderung unter äußeren Einflüssen gewinnen sie zunehmende Bedeutung für die Herstellung von mikroelektronischen Strukturen und Bauelementen. Die in Dresden ansässige Forschergruppe „Ferroische Funktionselemente: Physikalische Grundlagen und Konzepte“ betreibt sowohl die Grundlagenforschung auf dem Teilgebiet der Ferroika als auch die Erforschung ihrer Einsatzmöglichkeiten.

Im Bereich der **Chemie und Verfahrenstechnik** konnten erfreulicherweise in 2002 drei neue Sonderforschungsbereiche und vier Schwerpunktprogramme ihre Arbeit aufnehmen. Die Nutzung „bioinspirierter“ Katalysatoren, die z. B. die Funktionsweise von Enzymen auf nicht biologische Systeme übertragen und als besonders umwelt- und

ressourcenschonend gelten, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Derartig molekülchemisch orientierte Grundlagenforschung ist die Zielsetzung des 2002 neu eingerichteten SFBs „Molekulare Katalysatoren: Struktur und Funktionsdesign“ in Heidelberg. Dieser breit und interdisziplinär angelegte Verbund will zur Aufklärung der Funktionsweise von molekularen Katalysatoren in homogener und heterogener Phase beitragen. Langfristige Ziele sind die Optimierung von Katalysatorsystemen und neuartige, katalytisch nutzbare Moleküle oder Basisreaktionen. Mit der rasanten, nicht selten rein empirisch erfolgten Optimierung der Materialeigenschaften haben jedoch weder die Entwicklung geeigneter Präparationstechniken noch das Verständnis der zugrunde liegenden physikalischen Effekte Schritt halten können. Hier setzt das neue Schwerpunktprogramm „Substitutionseffekte in ionischen Festkörpern“ an, dessen Ziel es ist, die Weiter- und Neuentwicklung ionischer Mischphasen grundlagenorientiert voranzutreiben. Thematisch verwandt ist der SFB „Ionenbewegung in Materialien mit ungeordneten Strukturen“, der sich vor allem um das experimentelle und theoretische Verständnis der Dynamik der Ionen bemüht und eine Brücke vom Elementarschritt zum makroskopischen Transport schlagen möchte. Übergangsmetalloxide stellen eine interessante Verbindungsklasse mit einer großen Vielfalt von Eigenschaften dar. Sie finden in vielen Bereichen Anwendung, etwa bei Hochtemperatursupraleitern, in der nicht linearen Optik und in der heterogenen Katalyse. Die Volumeneigenschaften der Feststoffe werden seit langem untersucht, während deren Oberflächeneigenschaften erst in jüngster Zeit in den Vordergrund des Interesses gerückt sind. Über die Eigenschaften kleiner Übergangsmetalloxide in der Gasphase ist noch sehr wenig bekannt. Der Berliner SFB „Struktur, Dynamik und Reaktivität von Übergangsmetalloxid-Aggregaten“ konzentriert sich auf Vanadiumoxide und koppelt Gasphasen- und Oberflächenuntersuchungen, um isolierte und deponierte Aggregate direkt miteinander vergleichen und die Beziehungen zwischen den Strukturen der einzelnen Aggregate und ihren Funktionen, insbesondere die katalytische

Aktivität, aufklären zu können. Die Sichtweise der Technischen Chemiker, die sich um die Optimierung von Metalloxidgemischen bemühen, die als technische Katalysatoren unter hohen Drücken und Temperaturen eingesetzt werden, und der Oberflächenphysikochemiker, die katalytische Vorgänge durch Untersuchungen an idealen Einkristallen unter Ultrahochvakuumbedingungen modellieren, waren bislang sehr voneinander verschieden. Im Schwerpunktprogramm „Brückenschläge zwischen idealen und realen Systemen in der heterogenen Katalyse“ wer-



den beide Sichtweisen zusammengeführt, um ein umfassendes mikroskopisches Verständnis einzelner katalytischer Prozesse unter technischen Bedingungen zu erarbeiten. Im Schwerpunktprogramm „Halbleiter- und Metallcluster als Bausteine für organisierte Strukturen“, in dem Cluster in der Größenordnung von wenigen Nanometern und darunter nicht mit physikalischen Methoden, sondern mit chemischen Präparationstechniken aus einzelnen Atomen und Molekülen erzeugt werden, fokussiert sich die Förderung nur auf solche Projekte, die sich nicht auf die Untersuchung einzelner Cluster, sondern auf die chemische Wechselwirkung der Agglomerate konzentrieren. Man möchte die faszinierende Welt nanoskopischer Systeme mit neuen, sehr interessanten physikalischen und chemischen Eigenschaften besser verstehen lernen und für künftige Anwendungen nutzbar machen. Im Duisburger SFB „Nano-Partikel aus der Gasphase: Entstehung, Struktur, Eigenschaften“, arbeiten Ingenieure, Chemiker und Physiker interdisziplinär zusammen. Pulver aus Nanopartikeln sind die Basis für neuartige Materialien, wie neue keramische Werkstoffe, neuartige Katalysatoren oder neue elektrische und magnetische Bauelemente und Sensoren.

Der neu eingerichtete Mainzer SFB „Von einzelnen Molekülen zu nanoskopisch strukturierten Materialien“ möchte neuartige Strukturen durch den gezielten Einsatz definierter Bausteine zur Erzeugung einheitlicher Überstrukturen entwickeln. Dabei sollen die klassischen Systeme der Selbstorganisation wie flüssigkristalline, tensidische oder Blockcopolymerphasen lediglich der Präorganisation von molekularen Bausteinen dienen, die nach entsprechender Fixierung als Molekülverbände in höhere Organisationsformen überführt werden können. Besonders wichtig ist die Klärung der Frage, welche Minimalgrößen geordnete Molekülverbände haben müssen, um bestimmte Stoffeigenschaften aufzuweisen oder Funktionen zu erfüllen. Neu in 2003 eingerichtet wurde auch das Schwerpunktprogramm „Molekulare Modellierung in der Verfahrenstechnik“. In diesem Forschungszweig werden bislang überwiegend phänomenologische Methoden eingesetzt, deren Potenzial jedoch mittlerweile auf vielen Gebieten ausgelos-

tet ist. Neue Möglichkeiten bieten hier molekulare Methoden, die jedoch vor allem bessere quantitative Modelle der zwischenmolekularen Wechselwirkungen und effiziente Simulationsverfahren voraussetzen, die technischen Genauigkeitsanforderungen bei vertretbarem Aufwand genügen. Diese Ziele sollen durch Projekte auf den Gebieten verfolgt werden, in denen klassische Ansätze versagen oder nur unbefriedigende Ergebnisse liefern.

A3 Förderung von werkstoffrelevanten Themen durch die Europäische Union

EU-Rahmenprogramme

Die nationalen Förderprogramme unterstützen die landesspezifischen Forschungs- und Entwicklungsziele, die im geeigneten Kontext auch internationale Aspekte mit einbeziehen ohne die programmatischen Konzepte der Europäischen Union in den Vordergrund zu stellen. Die Europäische Union verfolgt mit ihrer Forschungsförderung das im Amsterdamer Vertrag (Artikel 163) festgelegte Ziel, „die wissenschaftlichen und technologischen Grundlagen der Industrie der Gemeinschaft zu stärken und die Entwicklung ihrer internationalen Wettbewerbsfähigkeit zu fördern sowie alle Forschungsmaßnahmen zu unterstützen, die aufgrund anderer Kapitel dieses Vertrags für erforderlich gehalten werden“.

Zur Erreichung dieses Zieles wurde in 2002 das mittlerweile **6. Forschungsrahmenprogramm** (6. FRP) formuliert und in Kraft gesetzt. Im Vordergrund steht dabei die Schaffung des Europäischen Forschungsraums durch eine verstärkte und effizientere Bündelung europäischer Forschungsanstrengungen und -kapazitäten. Folgende **Grundprinzipien** kennzeichnen das neue Rahmenprogramm:

- Konzentration auf eine begrenzte Zahl vorrangiger Forschungsbereiche, mit ausgeprägtem europäischem Mehrwert,
- Entfaltung einer stärker strukturierenden Wirkung auf Forschung und Entwicklung in Europa,
- Leistung eines bedeutenden Beitrags zur Entwicklung wissenschaftlicher und technischer Exzellenz und zur Koordinierung der Forschung in Europa,

- Vereinfachung und Straffung der Durchführungsbestimmungen durch neu festzulegende Förderformen und dezentralisierte Verwaltungsverfahren.

Das 6. FRP ist in die drei großen Maßnahmenblöcke „Bündelung und Integration der Gemeinschaftsforschung“, „Ausgestaltung des Europäischen Forschungsraums“ und „Stärkung der Grundpfeiler des Europäischen Forschungsraums“ unterteilt. Unter „Bündelung und Integration der Gemeinschaftsforschung“ werden sieben vorrangige Themenbereiche gefördert. Die Werkstoffforschung, Chemie und Nanomaterialien finden sich in der thematischen Priorität 3 (TP3) „**Nanotechnologien und Wissenschaften, wissensbasierte multifunktionelle Werkstoffe und neue Produktionsverfahren und -anlagen**“ wieder. Die erste Ausschreibung erfolgte am 17. Dezember 2002, weitere werden folgen.

Ziel der Maßnahmen in diesem Bereich ist es, Europa dabei zu unterstützen, eine kritische Masse an Kapazitäten aufzubauen, die – insbesondere im Hinblick auf eine größere Ökoeffizienz und eine Verringerung der Freisetzung gefährlicher Stoffe in die Umwelt – für die Entwicklung und Nutzung von Spitzentechnologien für wissensbasierte Produkte, Dienstleistungen und Produktionsverfahren in den nächsten Jahren notwendig sind.

Die praktische Umsetzung der Themenbereiche erfolgt durch die Instrumente, die in „neue“ (vorrangige) und „weitere“ (schon im 5. FRP vorhandene) unterteilt sind. Neu sind „Integrierte Projekte“ (IP) und „Exzellenznetze“ (NoE). Insgesamt sind mindestens 15 % der Fördermittel für die Beteiligung von KMU an Projekten innerhalb der vorrangigen Themenbereiche reserviert.

In Ergänzung zu den vorrangigen Themenbereichen werden weitere, **spezifische Aktivitäten** in einem breiten Forschungsbereich gefördert, wie:

- Maßnahmen zur Unterstützung der **Gemeinschaftspolitiken** (Politikorientierte Forschung),
- Forschung als Reaktion auf neuen und neu entstehenden Wissenschafts- und Technologiebedarf (Neue Forschungsbereiche und Reaktion auf unerwartete Entwicklungen),
- spezielle Maßnahmen zur Unterstützung der **internationalen Zusammenarbeit**,
- horizontale Forschungsmaßnahmen unter Beteiligung von **KMU**: Kollektiv- und Kooperationsforschung,
- Marie-Curie-Mobilitätsmaßnahmen.



Dies bedeutet für die Praxis, dass eine deutsche Beteiligung dann vorrangig vor den nationalen Förderprogrammen in Frage kommt, wenn das Forschungsthema eine europäische Dimension aufweist und sich mehrere Partner aus europäischen und assoziierten Ländern daran beteiligen.

Im Rahmen der ERA-NET-Maßnahmen werden Möglichkeiten für zukünftige gemeinsame Aktivitäten mehrerer Mitgliedsstaaten analysiert und vorbereitet. Hieraus können sich Impulse auch für die Materialforschung ergeben.

Weitere aktuelle Informationen sind zu erhalten unter:

http://www.europa.eu.int/comm/research/fp6/index_en.html

<http://www.cordis.lu/de/>

<http://www.kowi.de/rp6/default.htm>

<http://www.fz-juelich.de/ptj/contentory/index.lw?index=926>

COST

Die europäische Kooperationsinitiative „**COST**“ (European **Co**-operation in the field of **Scientific and Technical Research**) bildet seit 1972 einen zwischenstaatlichen europäischen Ordnungsrahmen für die internationale Zusammenarbeit zwischen einzelstaatlich finanzierten Forschungsprojekten. COST sorgt für die wissenschaftliche Vernetzung und umfasst Forschungsmaßnahmen, die im grundlegenden, vorwettbewerblichen Bereich angesiedelt sind, so genannte COST-Aktionen. Bisher fanden 37 COST-Aktionen im Bereich der Materialwissenschaft statt. Die thematischen Schwerpunkte waren die Entwicklung von neuen Leichtmetall- und Stahllegierungen, Polymerwerkstoffen und Polymer-Verbundwerkstoffen (insbesondere für Anwendungen im Fahrzeugbau), dünner Schichten für Anwendungen in der Informationstechnologie, Nanowerkstoffe, der Einsatz von Naturstoffen (Zellulose, Holz) sowie die Tribologie und der Energiebereich.

Für die COST-Zusammenarbeit gibt es in Deutschland keinen speziellen Fonds. Die Unterstützung der

Teilnehmer durch COST besteht in der Finanzierung von Konzertierungskosten, d. h. Kosten, die mit der Organisation und Durchführung einer Aktion zusammenhängen, wie z. B. Reisekosten für nationale Delegierte aus EU-Ländern und EU-assozierten Ländern, Workshops, Versammlungen, Seminare, Publikationen, Kurzaufenthalte von Wissenschaftlern. Weitere Informationen: <http://www.kp.dlr.de/COST>

EUREKA

EUREKA ist seit 1986 eine europäische Initiative für marktnahe Forschung und Entwicklung, die neben wissenschaftlichen Einrichtungen auch Unternehmen einen Rahmen für grenzüberschreitende und marktorientierte Kooperationen bietet.

Da es sich um eine Initiative und nicht um ein Programm handelt, erfolgt die Projektfinanzierung nicht aus einem zentralen Budget. Sie ist in jedem Mitgliedsland anders geregelt. In Deutschland können Projektbeteiligungen mit

- eigenen Mitteln,
- öffentlichen Zuschüssen,
- Krediten,
- Beteiligungskapital

finanziert werden. Deutsche EUREKA-Teilnehmer können bei den nationalen Fachprogrammen Förderung beantragen – d. h. bei Programmen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA). Weitere Informationen: <http://www.eureka.dom.de/de/index.html>

ESF

Die European Science Foundation (ESF) wurde 1974 gegründet und ist eine Gemeinschaft von 70 Mitgliedsorganisationen aus 27 europäischen Ländern. ESF organisiert europaweite langfristige Wissenschaftsinitiativen auf hohem Niveau. Sie leistet Unterstützung bei der Organisation von Workshops und Konferenzen, dem Aufbau von Netzwerken, bei internationalen wissenschaftlichen Kooperationen und bei der Mobilisierung nationaler Fördermittel. Einzelheiten über Finanzierungsmöglichkeiten finden sich unter: <http://www.esf.org>.



Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.