

TAB

BÜRO FÜR **T**ECHNIKFOLGEN-**A**BSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN **B**UNDESTAG

Rheinweg 121 · 53129 Bonn · Telefon: (02 28) 23 35 83 · Telefax: (02 28) 23 37 55 · Teletex: 2627-2283682 = TAB

M. Socher

Januar 1995

Th. Rieken

D. Baumer

TA-Projekt „Neue Werkstoffe“

Endbericht

TAB-Arbeitsbericht Nr. 32

Inhalt

Berichterstatter und Beiratsmitglieder	1
Zusammenfassung	2
Vorbemerkung.....	7
I. Einführung	9
II. Hauptentwicklungslinien und Marktpotentiale neuer Werkstoffe und Werkstofftechnologien.....	10
1. Trends der Werkstoff- und Technologieentwicklung	10
2. Marktpotentiale und Anwendungswahrscheinlichkeit neuer Werkstoffe	16
3. Fazit.....	20
III. Umwelteinflüsse neuer Werkstoffe	21
1. Zur ökologischen Bewertung neuer Werkstoffe	21
2. Berücksichtigung von Umwelteinflüssen neuer Werkstoffe.....	27
3. Fazit.....	32
IV. Wirkung rechtlicher Vorgaben auf Forschung, Entwick- lung und Verwendung neuer Werkstoffe.....	34
1. Berücksichtigung neuer Werkstoffe im geltenden Recht.....	34
2. Aspekte der beruflichen Qualifikation	37
3. Fazit.....	38

V.	Fallbeispiele zur Umsetzung von Ergebnissen der Forschung und Entwicklung im Bereich neuer Werkstoffe	40
1.	Ausstieg aus einer Werkstoffentwicklung.....	40
2.	Überführung einer Werkstoffinnovation	43
3.	Fazit	45
VI.	Forschungsförderung im Bereich neuer Werkstoffe	47
1.	Das Matech- Programm des BMFT "Neue Werkstoffe für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts"	47
2.	Ergänzende Ansätze für die Forschungsförderung im Werkstoffbereich	49
3.	Fazit	52
	Literatur	54

Berichterstatter

Marion **Caspers-Merk**, MdB, SPD

Erich **Fritz**, MdB, CDU/CSU

Prof. Dr. **Nobert Rieder**, MdB, CDU/CSU

Ernst **Schwanhold**, MdB, SPD

Marita **Sehn**, MdB, F.D.P.

Beiratsmitglieder

Dr. Franz **Brandstetter**

BASF AG, Ludwigshafen

Prof. Dr. **Horst Czichos**

Bundesanstalt für Materialforschung und
-prüfung, Berlin

Dipl.-Ing. **Ulrich Goetz**

Sintec Keramik GmbH, Halblech-Buching

Dr. **Hans-Joachim Haß**

Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.
(BDI), Köln

Prof. Dr. **Hans-Jörg Jacobasch**

Institut für Polymerforschung Dresden e.V.,
Dresden

Prof. Dr. **Helmut Schmidt**

Institut für Neue Materialien gm. GmbH,
Saarbrücken

Roland Schneider

Deutscher Gewerkschaftsbund (DGB), Düs-
seldorf

Dr. **Detlev Stöver**

Institut für Angewandte Werkstofforschung
(IAW), Forschungszentrum Jülich GmbH
(KfA), Jülich

Prof. Dr. **Klaus Weyrich**

Zentralabteilung Forschung und Entwick-
lung, Siemens AG, München

Zusammenfassung

Bedeutung neuer Werkstoffe für den Standort Deutschland

Neue Werkstoffe sind ein wesentlicher Bestandteil hochinnovativer Technologiefelder. Eine Reihe von Schlüsseltechnologien wäre ohne den Einsatz neuer Werkstoffe nicht realisierbar, dazu zählen u.a. Informationstechnik, Umwelttechnik, Wehrtechnik, Energietechnik, Verkehrs- und Fertigungstechnik. Diese Bereiche sind von entscheidender Bedeutung für den Wirtschaftsstandort Deutschland, ein Rückstand oder Nachlassen im Innovationsgeschehen darf nicht entstehen.

Deutschland nimmt weltweit eine führende Position in der grundlagenorientierten Werkstoffforschung ein. Technologiekonzerne und Unternehmen der chemischen Industrie entwickeln Werkstoffe mit hohen Anwendungspotentialen in strukturbestimmenden Technologiebereichen. Dies erfolgt in Kooperation mit Instituten der anwendungsorientierten Werkstoffforschung. Defizite existieren aufgrund einer zu zaghaften Umsetzung von Forschungsergebnissen in vermarktbare Produkte. Kleinen und mittleren Unternehmen fällt es zunehmend schwer, sich an hochinnovativen Werkstoffentwicklungen zu beteiligen. Diese Gruppe von Unternehmen zeichnet sich jedoch durch eine hohe Flexibilität bei der Umsetzung von Werkstoffentwicklungen in marktfähige Produkte aus und trägt somit wesentlich zum Erhalt der Qualität des Standortes Deutschland bei. Eine intensivere Einbindung dieser Unternehmen in das Programm der Bundesregierung zur Förderung der Materialforschung für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts würde dazu beitragen, Werkstoffinnovationen schneller und umfassender als bisher auf dem Markt wirksam werden zu lassen.

Marktpotentiale neuer Werkstoffe

Hohe Marktpotentiale und zum Teil beträchtliche Wertschöpfungen lassen neue Werkstoffe zu einem attraktiven Bereich unternehmerischer Aktivitäten werden. Neue Werkstoffe haben eine Schrittmacherfunktion insbesondere für Entwicklungen im Bereich der Schlüsseltechnologien. Der wirtschaftliche Erfolg von Werkstoffinnovationen ist dann groß, wenn durch sie mit neuen Produkten neue Märkte erschlossen werden können. Der Substitutionswettbewerb mit klassischen Werkstoffen für reife Technologien und etablierte Märkten vollzieht sich dagegen deutlich langsamer. Insbesondere Strukturwerkstoffe können sich auf dem Markt nur dann durchsetzen, wenn sie preislich attraktiver sind als die vorher eingesetz-

ten Werkstoffe. Funktionswerkstoffe, die nur in geringen Mengen benötigt werden, finden oft keine Hersteller, da die Wertschöpfung zu gering ist und Prognosen über die zukünftige Marktentwicklung unsicher sind. Während Technologiekonzerne systemermöglichende Werkstoffe "in-house" entwickeln, verzichten kleine und mittlere Unternehmen oftmals auf die Entwicklung und den Einsatz neuer Werkstoffe. **Um diese Unternehmen stärker als bisher zu befähigen, am Markt für neue Werkstoffe zu agieren, muß der Wissens- und Technologietransfer beschleunigt und intensiviert werden, da durch die schnelle Überführung von aufbereiteten Forschungsergebnissen kleine und mittlere Unternehmen Marktchancen ohne eigenständige Vorlaufforschung nutzen könnten.**

Umweltwirkungen neuer Werkstoffe

Der Einsatz neuer Werkstoffe kann während des gesamten Lebenszyklus' zu beträchtlichen Einsparungen an Grundstoffen und Energie und somit zu spürbaren Entlastungen der Umwelt führen. Beginnend mit einer umfassenden Beschreibung möglicher Umwelteinflüsse bei der Herstellung, Nutzung und Rezyklierung/Entsorgung können neue Werkstoffe auch unter Berücksichtigung ökologischer Belange maßgeschneidert entwickelt werden und somit einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltig zukunftsfähigen Entwicklung leisten.

Neue Funktionswerkstoffe in Hoch- und Schlüsseltechnologien ermöglichen völlig neuartige Anwendungen, die z.B. beim Einsatz im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien zu grundsätzlichen Veränderungen von Stoff- und Energieströmen führen können. Diese im Prinzip bekannten, beim gegenwärtig äußerst begrenzten Wissensstand jedoch oftmals nur qualitativ beschreibbaren Effekte müssen den Umweltbeeinflussungen, die bei der Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung neuer Werkstoffe auftreten können, gegenübergestellt werden, da neue Werkstoffe sich oftmals durch eine große stoffliche und energetische Eingriffstiefe auszeichnen. So sind sie oftmals schwer abbaubar und in vielen Fällen nur mit beträchtlichem Aufwand wieder in industrielle Stoffkreisläufe rückführbar.

Die Werkstoffforschung steht deshalb langfristig vor der Herausforderung, solche Materialien zu entwickeln, die umweltverträglich hergestellt werden können, sich durch eine lange Lebensdauer auszeichnen und durch Rückbau- oder Rezyklierbarkeit nur noch zu geringen Umweltbelastungen bei der Entsorgung führen. Dazu bedarf es eines Herangehens, **bei dem materialwissenschaftliche und technologische Aspekte der Werkstoffherstellung und -verarbeitung gemeinsam mit stoffökologischen Aspekten bearbeitet werden. Einen Förderschwer-**

punkt für dieser Form der bereichsübergreifenden Forschung müßten kleine und mittlere Unternehmen bilden, da diese aus eigener Kraft oftmals kaum in der Lage sind, Innovationen mit hohem ökologischen Anspruch voranzubringen und umzusetzen.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Werkstoffe werden in bezug auf ihre Herstellung, Anwendung und Entsorgung durch das geltende Recht umfassend erfaßt. Die Erforschung und Entwicklung neuer Werkstoffe wird durch die rechtlichen Rahmenbedingungen ebenfalls beeinflußt. Insbesondere das Umweltrecht wirkt auf die anwendungsorientierte Forschung, da neue Werkstoffe den Anforderungen des Stoff- und Kreislaufwirtschafts(Abfall)rechtes entsprechen müssen, um in Deutschland hergestellt, verarbeitet, verwendet und entsorgt werden zu können.

Maßnahmen auf Unternehmensebene, wie das Öko-Audit, Qualitätssicherung nach DIN/ISO 9000 f sowie technische Normungsverfahren, führen dazu, daß neue Werkstoffe hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die umwelt- und arbeitsschutzgerechte Gestaltung von Produktionsverfahren, die Sicherung der Produktqualität und die international akzeptierte Zertifizierbarkeit umfassend untersucht und beschrieben werden müssen.

Die Gesamtheit der rechtlichen Vorgaben und der freiwilligen Maßnahmen der Unternehmen stellt Werkstoffforscher und -entwickler sowie Hersteller vor neue, anspruchsvolle Aufgaben. Während Großunternehmen den dazu notwendigen Prozeß selbst gestalten können, fehlt es kleinen und mittleren Unternehmen dafür oft an den entsprechenden personellen, finanziellen und organisatorisch-strukturellen Voraussetzungen. Da ohne die Gewährleistung der Rechtskonformität Produkte nicht vermarktbar sind, wird es für kleine und mittlere Unternehmen zunehmend schwerer sich in besonders schnell sich entwickelnden, auf neuen Werkstoffen basierenden Technologiefeldern zu engagieren.

Im Rahmen der Forschungsförderung über Verbundprojekte könnte diesen Unternehmen die Möglichkeit gegeben werden, rechtliche Probleme bei der Entwicklung aber auch Überführung neuer Werkstoffe durch entsprechende Projektpartner untersuchen zu lassen. Dadurch könnten Innovations- und Diffusionsprozesse in einem rechtssicheren Umfeld beschleunigt werden.

Überführung von Werkstoffinnovationen

Die Entwicklung neuer Werkstoffe und deren Überführung in marktfähige Produkte erfolgt in einem Prozeß, dessen Erfolg wesentlich von der Zusammenarbeit zwischen Werkstoffentwickler/hersteller und dem Endanwender geprägt ist. Der Ausstieg der BASF aus dem Geschäftsbereich der Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe verdeutlicht, daß insbesondere im **Substitutionswettbewerb** große wirtschaftliche Risiken beim Materialhersteller liegen, da Endanwender oftmals beträchtliche investive Vorleistungen fordern, jedoch letztlich entscheidend an den preislichen Vorteilen neuer Werkstoffe interessiert sind. Ohne weitergehende unternehmerische Anreize aus dem Bereich der Endproduktentwicklung bedeutet deshalb die Einführung neuer Werkstoffe ein beträchtliches Risiko für Materialhersteller. Um dieses Risiko zu mindern, bedarf es einer intensiven Kooperation zwischen den verschiedenen Akteuren der Wertschöpfungskette. Neben der direkten Zusammenarbeit auf Unternehmensebene könnte die gemeinsame Teilnahme an Projekten der staatlichen Forschungsförderung dazu einen entscheidenden Beitrag leisten.

Das Beispiel der Kooperation zwischen einem mittelständischen Unternehmen und einem Forschungsinstitut verdeutlicht, daß Forschungsergebnisse im Werkstoffbereich erfolgreich umgesetzt werden können, wenn dadurch **Systeminnovationen** ermöglicht werden, die zu neuen Produkten auf neuen und etablierten Märkten führen. Die Einführung eines neuen Werkstoffs in ein Produkt sollte von einer Verbesserung bzw. Erneuerung der damit verbundenen Herstellungstechnologien begleitet werden, da dadurch zusätzliche Vorteile im Preiswettbewerb ermöglicht werden.

Forschungsförderung im Werkstoffbereich

Bereits seit 1984 fördert die Bundesregierung die Werkstoffforschung durch ein eigenständiges Programm. Die Fortschreibung des ersten stofforientierten Materialforschungsprogramms (Matfo) war begleitet von der Weiterentwicklung hin zu einem Materialforschungsprogramm für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts (Matech). Im Rahmen dieses technologieorientierten Programms werden Werkstoffe für die Informationstechnik, die Energietechnik, die Verkehrstechnik, die Medizin- und Fertigungstechnik entwickelt. Langfristige ökologische Aspekte sollen verstärkt Berücksichtigung finden. Mit dem Programm wird angestrebt, den Innovationsprozeß zu beschleunigen und die Kooperation zwischen institutioneller und Industrieforschung zu verbessern, so daß die Diffusion von neuen Werkstoffen in breite Anwendungen schnell und effizient erfolgt.

Obwohl das Programm sehr breit angelegt ist, bestehen **Defizite** hinsichtlich der **Integration** außerdisziplinärer Bereiche, dies gilt insbesondere für die Umweltforschung und die Berücksichtigung rechtlicher Aspekte. Die Berücksichtigung dieser Bereiche ist oftmals entscheidend für die erfolgreiche Überführung von Forschungsergebnissen in Produkte.

Insgesamt wird dem **Technologietransfer** zu geringe Aufmerksamkeit gewidmet. Durch eine wirtschaftliche Orientierung des Technologietransfers könnten vor allen Dingen kleine und mittlere Unternehmen in die Lage versetzt werden, Ergebnisse der Werkstoffforschung maßgeschneidert für ihren Bedarf zu erwerben. Ein kommerzialisierter Technologietransfer würde durch den marktnahen Wettbewerb auch zu einer **Belebung** und **Beschleunigung** von Innovationsprozessen beitragen.

Die **Förderung der Werkstoffforschung** kann über verschiedene Instrumente erfolgen. Für das Matech-Programm wurde die direkte Förderung von Verbundprojekten gewählt, da diese eine zielgenaue Mittelzuwendung und Erfolgskontrolle gestattet. Indirekte und indirekt-spezifische Förderinstrumente, wie z.B. Steuerergünstigungen, Sonderabschreibungen oder auch rückzahlbare Darlehen, sind jedoch für den Mittelstand oftmals attraktiver, da durch sie Entscheidungsfreiheit und Verantwortung bei den Unternehmen gelassen und eine flexiblere Behandlung anwendungsnaher Forschung und Entwicklung gewährleistet wird. Zudem könnte eine **differenziertere Anwendung förderpolitischer Instrumente** dazu beitragen, den breiten Mittelstand stärker als bisher an staatlichen Forschungsprogrammen zu beteiligen und damit zur Zukunftssicherung des Standortes Deutschland beitragen.

Vorbemerkung

Durch den Ausschuß für Forschung, Technologie und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages wurde im November 1992 an das TAB der Auftrag zur Durchführung einer TA-Studie zum Thema "Neue Werkstoffe" vergeben. Im TAB-Arbeitsbericht Nr. 15 (November 1992) "Neue Werkstoffe - politische Herausforderung und technologische Chancen" wurden die wesentlichen Schwerpunkte des TAB-Projektes vor dem Hintergrund der Bedeutung neuer Werkstoffe für den Wirtschaftsstandort Deutschland dargestellt. Im Beschluß des Forschungsausschusses zur Durchführung des TA-Projektes wurden diese Schwerpunkte folgendermaßen gebündelt:

- Für den Materialsektor (Bundesrepublik Deutschland und Europäische Union (EU)) sollen Entwicklungspotentiale, wirtschaftliche Bedeutung, ökologische Auswirkungen und soziale Relevanz in einem **generellen Überblick** behandelt werden.
- Anhand von **branchen- und produktbezogenen Beispielen** sollen die Chancen und Risiken neuer Entwicklungen auf dem Werkstoffsektor für die deutsche Industrie verdeutlicht werden.
- Schließlich sollen daraus **Anregungen für die Verbesserung** der staatlich geförderten Werkstoffforschung abgeleitet werden.

Zur Diskussion des erreichten Standes der an externe Sachverständige vergebenen Gutachten wurde eine Klausurberatung durchgeführt, an der Gutachter, Beiratsmitglieder sowie Berichterstatter aus den Fraktionen des Deutschen Bundestages teilnahmen. In Auswertung dieser Diskussion wurden im TAB-Arbeitsbericht Nr. 22 "Wege zur integrierten Werkstoffforschung" skizziert. Das TAB-Projekt "Neue Werkstoffe" wurde durch den Ausschuß für Forschung, Technologie und Technikfolgenabschätzung im Juni 1994 mit der Abnahme des Arbeitsberichtes Nr. 26 beendet. Ergebnisse des TAB-Projektes "Neue Werkstoffe" fanden in verschiedener Form Berücksichtigung bei der inhaltlichen Gestaltung des neuen Matech-Programms der Bundesregierung "Neue Materialien für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts".

Der hiermit vorgelegte Abschlußbericht des TAB zum TA-Projekt "Neue Werkstoffe" stützt sich in hohem Maße auf die Ergebnisse der im Auftrag des TAB erarbeiteten Gutachten. Die Verantwortung für die Auswahl und Interpretation der in diesem Bericht eingearbeiteten Ergebnisse liegt ausschließlich bei den Autoren des Berichtes.

Gutachten im Auftrag des TAB:

ZERP - ZENTRUM FÜR EUROPÄISCHE RECHTSPOLITIK AN DER UNIVERSITÄT BREMEN: *Rechtliche Rahmenbedingungen bei der Erforschung und Entwicklung sowie bei der Verwendung neuer Werkstoffe*

PROF. DR. H. SCHMIDT, SAARBRÜCKEN: *Vergleich der Forschung und Entwicklung werkstoffbasierter Technologien zwischen den Wirtschaftsblöcken Japan, USA und Deutschland und Erarbeitung alternativer Handlungsoptionen*

ISI - FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK UND INNOVATIONSFORSCHUNG: *Neue Werkstoffe in der chemischen Industrie: Fallstudie der Innovations- und Diffusionsprozesse*

SFS - SOZIALFORSCHUNGSSTELLE DORTMUND: *Auswirkungen in der Arbeitswelt durch neue Werkstoffe: Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie Qualifikationsanforderungen bei komplexen neuen Werkstoffen*

INT - FHG-INSTITUT FÜR NATURWISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE TRENDANALYSEN: *Vertiefende Untersuchung der technologischen Entwicklungslinien und -trends im Bereich neuer Werkstoffe*

IÖW - INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG: *Umwelteinflüsse neuer Werkstoffe*

IFO - IFO-INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG: *Marktpotentiale neuer Werkstoffe*

I. Einführung

Der Standort Deutschland wird gegenwärtig einer umfassenden politischen und wirtschaftlichen Analyse unterzogen. Dabei spielt die Forschungs- und Technologiepolitik eine wichtige Rolle. Durch sie wird die Innovationsfähigkeit und damit die langfristige Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen entscheidend beeinflusst.

Nicht nur in Deutschland werden Schwerpunkte im Bereich der Forschungspolitik neu definiert und die damit in Zusammenhang stehenden Strukturen an die neuen Herausforderungen angepaßt. Weltweit wirkt sich dieser Prozeß besonders stark auf die anwendungsorientierte Forschung aus. Durch ihre Nähe zur Industrie wird eine hohe Innovationsdynamik ermöglicht, gleichzeitig können Impulse aus der Grundlagenforschung kommerziell umgesetzt werden.

Die künftige Konkurrenzfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Deutschland wird von Innovationen im Werkstoffbereich entscheidend beeinflusst. Sie hängt in zunehmendem Maße davon ab, inwieweit es gelingt, auf dem Gebiet der neuen Werkstoffe mit der wissenschaftlichen und technologischen Entwicklung Schritt zu halten und Ergebnisse von Forschung und Entwicklung in entsprechende marktfähige Produkte umzusetzen. Neue Werkstoffe bilden die Grundlage für Weiterentwicklungen in praktisch allen wichtigen Technologiebereichen.

Werkstoffforschung und -entwicklung werden schon immer unter dem Aspekt der industriellen Nutzung betrieben. Dies hat zur Folge, daß im Bereich der neuen Werkstoffe traditionell eine starke Industrieforschung mit Partnern in der angewandten und Grundlagenforschung kooperiert. Diese Zusammenarbeit zu stärken, ist Gegenstand intensiver Bemühungen in den führenden Industrienationen. In Deutschland existiert ein historisch gewachsener Sektor der erkenntnis- und anwendungsorientierten Werkstoffforschung, der wesentlich dazu beiträgt, die wirtschaftliche Kraft und Innovationsfähigkeit des Standortes zu erhalten. Dennoch zwingen die neuen Herausforderungen der sich ständig verändernden Weltwirtschaft auch diesen Bereich zu einer Überprüfung von Inhalten, Schwerpunkten und Strukturen der angewandten und Grundlagenforschung. Die Effektivität staatlicher Forschungsförderung wird auch im Bereich der Werkstoffforschung zunehmend daran gemessen, wie es gelingt, die Anwendungshäufigkeit von Forschungsergebnissen in der Wirtschaft zu verbessern. Ergebnisse des TAB-Projektes "Neue Werkstoffe" fanden in verschiedener Form Berücksichtigung bei der inhaltlichen Gestaltung des neuen Matech-Programms der Bundesregierung "Neue Materialien" für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts.

II. Hauptentwicklungslinien und Marktpotentiale neuer Werkstoffe und Werkstofftechnologien

1. Trends der Werkstoff- und Technologieentwicklung

Der Begriff "Neue Werkstoffe" wird bisher in Ermangelung einer allgemein anerkannten Definition nicht einheitlich verwendet. Die vorliegende Studie lehnt sich an eine wissenschaftlich-technisch orientierte Auffassung an, die den Bereich der neuen Werkstoffe als den jeweils aktuellen Frontbereich von Werkstoffforschung und -entwicklung versteht. Neue Werkstoffe sind demnach Werkstoffe, die sich in ihrer physikalischen Struktur, chemischen Zusammensetzung oder ihrer Funktion von vorhandenen Werkstoffen unterscheiden. Ihre Entwicklung erfolgt grundsätzlich auf zwei verschiedenen Pfaden, und zwar

- durch Modifikation der physikalischen Struktur oder chemischen Zusammensetzung konventioneller Werkstoffe oder
- auf der Basis neuer, innovativer Werkstoffkonzepte.

Werkstoffe werden in zwei große Gruppen eingeteilt. Die **Strukturwerkstoffe** finden aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften ihre Anwendung vorwiegend im konstruktiven Bereich. Sie sind die materielle Grundlage für die meisten Bereiche des produzierenden Gewerbes. **Funktionswerkstoffe** ermöglichen aufgrund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften spezifische Funktionen in technischen Systemen, so z.B. die Leitung von Licht, Elektrizität oder Wärme. Beide Werkstoffklassen werden zu neuen Werkstoffen weiterentwickelt.

Insgesamt sind für Innovationen in Technologiebereichen, die wesentlich auf Werkstoffen basieren, die folgenden Entwicklungslinien charakteristisch:

- Neue Werkstoffe für neue Anwendungen;
- neue Werkstoffe für konventionelle Anwendungen;
- verbesserte konventionelle Werkstoffe für neue Anwendungen.

Infolge ihrer charakteristischen Eigenschaften (Systemermöglichung und -integration, Multifunktionalität, hohe Belastbarkeit) haben neue Werkstoffe in wichtigen Bereichen der industriellen Produktion große Bedeutung erlangt. Die Bedeutung der Werkstoffe für einzelne Branchen ergibt sich dabei unter anderem aus den erwarteten Einflüssen der durch neue Werkstoffe ermöglichten Techno-

logien auf Faktoren wie Innovationsrate, Adaptionfähigkeit von Unternehmen, Herstellungs- und Betriebskosten, Umweltverträglichkeit von Produktionsprozessen und Produkten oder Herstellerimage.

Entwicklungstrends bei neuen Werkstoffen

Ein wesentliches Merkmal im Entwicklungsprozeß neuer Werkstoffe ist die gezielte, auf die jeweilige Anwendung zugeschnittene Realisierung bestimmter Werkstoffeigenschaften. Solche sogenannten **maßgeschneiderten Werkstoffe** stellen einen qualitativen Fortschritt im Werkstoffbereich dar. Dabei bestimmen nicht länger die Eigenschaften eines Werkstoffes seine Nutzung. Vielmehr werden aus den gewünschten Funktionen technologischer Systeme Zielvorgaben für den Entwicklungsprozeß abgeleitet. Auf der Basis der Definition einer angestrebten technologischen Dienstleistung wird ein Nutzungsprofil entworfen, das die technologischen Anforderungen an die einzusetzenden Werkstoffe beschreibt. Im Anschluß daran können geeignete Werkstoffe in ihren Eigenschaftsprofilen an die beschriebenen Anforderungen angepaßt oder völlig neue Werkstoffe maßgeschneidert entwickelt werden. In der technologischen Entwicklung rücken dadurch das Endprodukt und dessen Funktion in den Vordergrund. Aus Sicht des Anwenders ist es zunächst gleichgültig, welcher Werkstofftyp zur Realisierung einer Funktion herangezogen wird, wenn verschiedene Werkstoffe die gestellten Anforderungen erfüllen.

Bei der Realisierung von **Systeminnovationen** treten zunehmend verschiedene technologische und stoffliche Lösungen in Konkurrenz. Technologische Funktionen sind nicht mehr ausschließlich mit Hilfe eines bestimmten Materials oder einer bestimmten Kombination von Materialien realisierbar; völlig verschiedene Werkstoffe konkurrieren um den gleichen Einsatzbereich. Dies liegt im wesentlichen daran, daß moderne Hochleistungswerkstoffe eine stete Erweiterung ihrer Belastbarkeitsgrenzen erfahren und ihre Anwendungsmöglichkeiten sich in Teilbereichen zunehmend überschneiden. Dafür gibt es vielfältige Beispiele, etwa im Bereich des Flugzeugbaus, in dem hochfeste und hochtemperaturbeständige Polymermatrix-Verbundwerkstoffe in Konkurrenz zu Metallen oder beschichtete Werkstoffe im Wettbewerb mit monolithischen Werkstoffen stehen.

Insgesamt erweitert die Einführung neuer Werkstoffe die Möglichkeiten der Auswahl von Werkstoffen für technologische Anwendungen und führt dadurch zu einer verstärkten Konkurrenz innerhalb und zwischen den Werkstoffklassen.

Gleichzeitig zum verstärkten Aufkommen der Konkurrenz zwischen Werkstoffen verläuft jedoch ein komplementärer Prozeß. Eine Vielzahl technologischer Sy-

steme wird erst durch neue Werkstoffe ermöglicht. Dies gilt insbesondere auf dem Gebiet der sogenannten Zukunftstechnologien. Dort, wo sich moderne Technologien durchsetzen, die entscheidend auf der Verwendung neuer Werkstoffe basieren, vollzieht sich ein Trend zur wachsenden **Werkstoffspezialisierung**. Dies gilt z.B. für den Bereich der Hochleistungspolymere, die in vielen Fällen erst die Möglichkeit zur Lösung neuer technischer Probleme eröffnen. So hat der Werkstoff Polycarbonat die optische Datenspeicherung auf Compact Discs technologisch und wirtschaftlich realisierbar werden lassen. Ein weiteres, klassisches Beispiel stellt die Halbleitertechnologie dar, die die Elektronik revolutioniert und die Mikroelektronik erst ermöglicht hat. Sie stützt sich auf die Verwendung weniger Halbleitermaterialien, darunter vor allem Silizium und Gallium (für Verbindungshalbleiter), die derzeit weder aus technologischer noch aus wirtschaftlicher Sicht substituierbar sind. Gleiches gilt für eine Vielzahl von Funktionswerkstoffen in verschiedensten Einsatzbereichen, etwa für Flüssigkristalle in der Display-Technik oder nichtlinear optische Gläser und Keramiken in der optischen Signalverarbeitung und Lasertechnik. Unter Umständen werden ausgesuchte neue Rohstoffe wie z.B. die Seltenen Erden eingesetzt, die in Verbindungen mit anderen Elementen bestimmte Materialeigenschaften ermöglichen, welche sich bislang nicht auf anderen Wegen erreichen lassen. Beispielsweise sind Yttrium und Neodym Werkstoffkomponenten für den Bau von Festkörper-Lasern, Samarium und Neodym Bestandteile moderner Dauermagnetwerkstoffe.

Parallel zum zunehmenden Wettbewerb zwischen Materialien ist demnach eine wachsende Spezialisierung von Werkstoffen mit systemermöglichender Funktion zu beobachten.

Im Bereich der Massen- und Strukturwerkstoffe wird der Substitutionswettbewerb durch neue und verbesserte Materialien verschärft. In vielen speziellen Anwendungen sind moderne Werkstoffe, vor allem die Funktionswerkstoffe, oftmals ohne Konkurrenz, so daß sich der Wettbewerb von der stofflichen auf die technologische Ebene verlagert.

Neben neuen Technologien bieten auch klassische Technologiefelder breite Einsatzmöglichkeiten für neue Werkstoffe. Im Flugzeug- und Fahrzeugbau z.B. hat sich bereits ein Wettbewerb zwischen konventionellen und neuen Werkstoffen entwickelt. Dies betrifft etwa Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe oder metallische Superlegierungen für Leitwerke und Karosserieteile oder neue Keramiken innerhalb der Antriebstechnik. Ein Beispiel für konventionelle Werkstoffe in neuen Technologien bildet Kupfer, das als Leitungsmaterial für die Breitbanddatenübertragung in ISDN-Netzen zur Anwendung kommt.

Neue Werkstoffe sind häufig in hohem Grade in Bauteile oder Produkte integriert. In der Regel sind einzelne Funktionen eines neuen Werkstoffs innerhalb eines komplexen Bauteils nicht mehr direkt erkennbar, sie bestimmen vielmehr die gesamten Eigenschaften des Produktes. Wesentliche Funktionen neuer Werkstoffe können nicht mehr isoliert genutzt werden. Dies zeigt sich am Beispiel der Piezokeramiken, deren spezifische elektromechanische Eigenschaften nur mit Hilfe einer entsprechenden elektronischen Peripherie zugänglich sind. Dieser hohe Grad der Systemintegration kennzeichnet in zunehmendem Maße die Entwicklung in modernen Technologiefeldern.

Ein weiteres Charakteristikum vieler neuer Werkstoffe ist ihre **Multifunktionalität**. Beispielsweise werden in der Mikrosystemtechnik sowohl mechanische als auch elektronische Eigenschaften des Siliziums genutzt. Bei Spiegeln für Laseranwendungen ist das Glas im Grunde nur noch Trägermaterial, während eine extrem dünne, aufgedampfte Schicht die gewünschten optischen Eigenschaften aufweist. Dieser Werkstoff birgt somit zwei wesentliche Eigenschaften gleichzeitig in sich: zum einen werden die konstruktiven Möglichkeiten durch den Strukturwerkstoff Glas erzielt, zum anderen wird durch die optisch aktive Schicht eine bestimmte Funktion des Werkstoffes erzeugt. Der einzelne Werkstoff könnte die angestrebten Produkteigenschaften nicht ermöglichen. Diese Beispiele deuten darauf hin, daß bei neuen Werkstoffen eine strikte Aufrechterhaltung der Unterscheidung in Struktur- und Funktionswerkstoffe nicht immer möglich und sinnvoll ist.

Neue Entwicklungen im Werkstoffbereich zeigen jedoch nicht nur Auswirkungen auf direkt werkstoffbasierten Technologiefeldern. Auch Fortschritte in Technologien, die nicht auf den ersten Blick mit neuen Werkstoffen in Verbindung gebracht werden, beruhen in erheblichem Maße auf Werkstoffentwicklungen. Dazu gehört z.B. die **Informations- und Kommunikationstechnologie**. Sie wird von Wissenschaft und Wirtschaft einhellig als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts genannt. Als übergreifender Technologiebereich hängt ihre Entwicklung in entscheidender Weise von Fortschritten werkstoffbasierter Technologien und damit von neuen Werkstoffen ab. Neben den Photonik-, Elektronik- und Mikroelektronikmaterialien spielen neue Werkstoffe dabei auch in peripheren Einrichtungen eine Rolle, etwa Flüssigkristalle in großflächigen Farbdisplays oder magnetische und magneto-optische Stoffe für Computermassenspeicher.

Im Rahmen einer vertiefenden Untersuchung der technologischen Hauptentwicklungslinien und -trends im Bereich neuer Werkstoffe wurden zukunftssträchtige Hochtechnologiefelder identifiziert, die in enger Weise mit dem Werkstoffsektor verbunden sind (INT 1994). Für die Werkstoffforschung werden demnach in Zukunft folgende Technologien von Bedeutung sein:

Mikroelektronik	Lasertechnik	Medizin und Biotechnik
Übrige Elektronik	Umwelttechnik	Biotechnologie
Optoelektronik	Energietechnik	Fertigungstechnik
Photonik, Sensorik	Luft- und Raumfahrt	Wehrtechnik
Nichtlineare Optik	Informations- und Kom-	Transport- und
Mikrosystemtechnik	munikationstechnologie	Antriebstechnik

Diese Zusammenstellung von Zukunftstechnologien mit Bezug zu neuen Werkstoffen unterstreicht den grundlegenden Querschnittscharakter neuer Werkstoffe. **Sie deutet nachhaltig darauf hin, daß die Werkstoffforschung und -entwicklung im Hinblick auf die Vielfalt zukunftssträchtiger Anwendungen so breit wie möglich angelegt sein sollte.**

Dies ist für die Konzeption staatlicher Förderprogramme auf dem Gebiet der Materialforschung von entscheidender Bedeutung. Im Interesse eines sich frei entfaltenden Innovationsprozesses, der eine möglichst weitgehende Ausnutzung von technologischen Entwicklungspotentialen gestattet, ist die Öffnung der Werkstoffforschung und -entwicklung auf die ganze Breite des technologischen Spektrums anzustreben. Eine eingeschränkte Strategie, die sich auf einige wenige Technologiefelder konzentriert, läuft Gefahr, möglicherweise Technologien und Werkstoffe mit großem Anwendungspotential von vornherein auszugrenzen oder lediglich in Randbereichen berücksichtigen zu können.

Moderne Technologien im Bereich neuer Werkstoffe

Neue Entwicklungen im Werkstoffbereich ermöglichen nicht nur neue Technologien, sie beruhen auch in ganz entscheidender Weise auf der Verfügbarkeit fortschrittlicher Produktions- und Verarbeitungstechnologien. Nur mittels modernster Technologien kann die Maßschneidung neuer Werkstoffe, d.h. die Fähigkeit zur Beeinflussung des Mikrogefüges von Materialien, ermöglicht werden. Moderne technologische Verfahren sind jedoch entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Bedeutung. So erfordert die ökologisch sinnvolle Verwertung und Entsorgung von Produkten mit neuen Werkstoffen teilweise ebenfalls neue Verfahren. Tabelle 1 stellt Beispiele für moderne Technologien auf einzelnen Ebenen des Lebenszyklus von Werkstoffen vor.

Tabelle 1: Bedeutung von (Werkstoff-)Technologien im Lebenszyklus neuer Werkstoffe (nach INT 1993)

Stufe im Lebenszyklus	Beispiele für relevante Technologien
Werkstoffdesign und -entwicklung	Computergestützte Analyse-, Simulations- und Designverfahren Computergestützte Konstruktion (z.B. bei Verbundwerkstoffen) Raster-Elektronenmikroskopie Röntgenstrukturanalyse
Werkstoffherstellung und -bearbeitung	Metalle: Mechanisches Legieren, Metallspritzgießen, Superplastisches Umformen, Diffusionsschweißen Keramiken: Pulverherstellung aus Lösung (Sol-Gel-Verfahren) Gläser: PVD- oder CVD-Verfahren zu Veredelung von Glasoberflächen und Erzeugung dünner glasiger Schichten Faserverbundwerkstoffe: automatisierte Fertigungsverfahren für Bauteile Halbleiter: Herstellung monokristalliner Diamantfilme für die Mikroelektronik Endkonturnahe Fertigungsverfahren Lasergestützte Materialbearbeitung (Oberflächenbearbeitung, Laserschweißen und -schneiden) Moderne Füge- und Verbindungstechniken
Werkstoffprüfung und Qualitätssicherung	Zerstörungsfreie Prüfverfahren (z.B. auf der Basis mikroskopischer physikalischer Effekte: Elektronen-, Röntgen- und Neutronenbeugung, Schallemission und -rückstreuung, Kernresonanz)
Werkstoffrecycling und Entsorgung	Verfahren zur sortenreinen Trennung von Kunststoffen (Werkstoffmarkierung durch Fluoreszenzmarker oder Metalldotierung, Sortenerkennung durch Nah-Infrarotspektroskopie, Massenspektroskopie oder Röntgenfluoreszenzanalyse, Trennung nach Dichteunterschieden oder elektrostatischer Aufladung) Kunststoffrecycling (z.B. chemisches Recycling: Pyrolyse, Hydrierungsverfahren)

In diesem Zusammenhang muß die eminente Bedeutung von Beschichtungstechnologien hervorgehoben werden. Beschichtete Werkstoffe verfügen über ein extrem breites Anwendungsspektrum. Sie kommen z.B. in den Bereichen Bau, Architektur, Gebrauchsgüter, Optik, Elektronik, Mikrosystemtechnik, Transport und Verkehr, Nachrichtentechnik, Umwelttechnik und Medizintechnik zum Einsatz. Gegenwärtig stehen jedoch nur eine relativ begrenzte Anzahl von Beschichtungsverfahren zur Verfügung. Dazu zählen z.B. Lackiertechniken, physikalische und chemische Bedampfungsverfahren (PVD und CVD) mit sehr beschränkter Werkstoffauswahl sowie einige spezielle Techniken (Flammsprühen, mechanisches Härten, Galvanisieren, Verzinken). Bisher werden in diesem Bereich lediglich vereinzelt Werkstoffentwicklungen mit maßgeschneiderter Zielsetzung durchgeführt (Schmidt 1994).

Insgesamt erfordern neue Technologien im Werkstoffbereich ein erhebliches Maß an naturwissenschaftlichem Grundlagenwissen und technologischem Know-How. Dies gilt insbesondere angesichts der wachsenden Bedeutung der Systemintegration von Werkstoffen. Letztendlich sind die dazu notwendigen Grundlagen nur

durch einen intensiven Wissens- und Technologietransfer im Rahmen einer engen bereichsübergreifenden Zusammenarbeit zwischen Angehörigen der verschiedenen Bereiche zu gewährleisten. Eine solche Kooperation wird um so wichtiger, als auch „artfremde“ technologische Entwicklungen den Erfolg einer Systeminnovation ermöglichen können. In dieser Beziehung sind insbesondere kleine und mittlere Unternehmen auf einen verstärkten Dialog mit institutionellen und industriellen Forschungskapazitäten angewiesen.

2. Marktpotentiale und Anwendungswahrscheinlichkeit neuer Werkstoffe

Die allgemein unbestrittene Schlüsselfunktion neuer Werkstoffe in der technologischen Entwicklung in Verbindung mit ihrem ausgeprägten Querschnittscharakter bildet die Ursache dafür, daß die industrielle Produktion neuer Werkstoffe häufig als Wachstumsbereich mit beträchtlich steigenden Marktpotentialen erachtet wird. Vertiefende Analysen technologischer Entwicklungslinien und Prognosen zu den Marktpotentialen einzelner Werkstoffklassen ergeben jedoch ein differenzierteres Bild.

Marktpotentiale neuer Werkstoffe

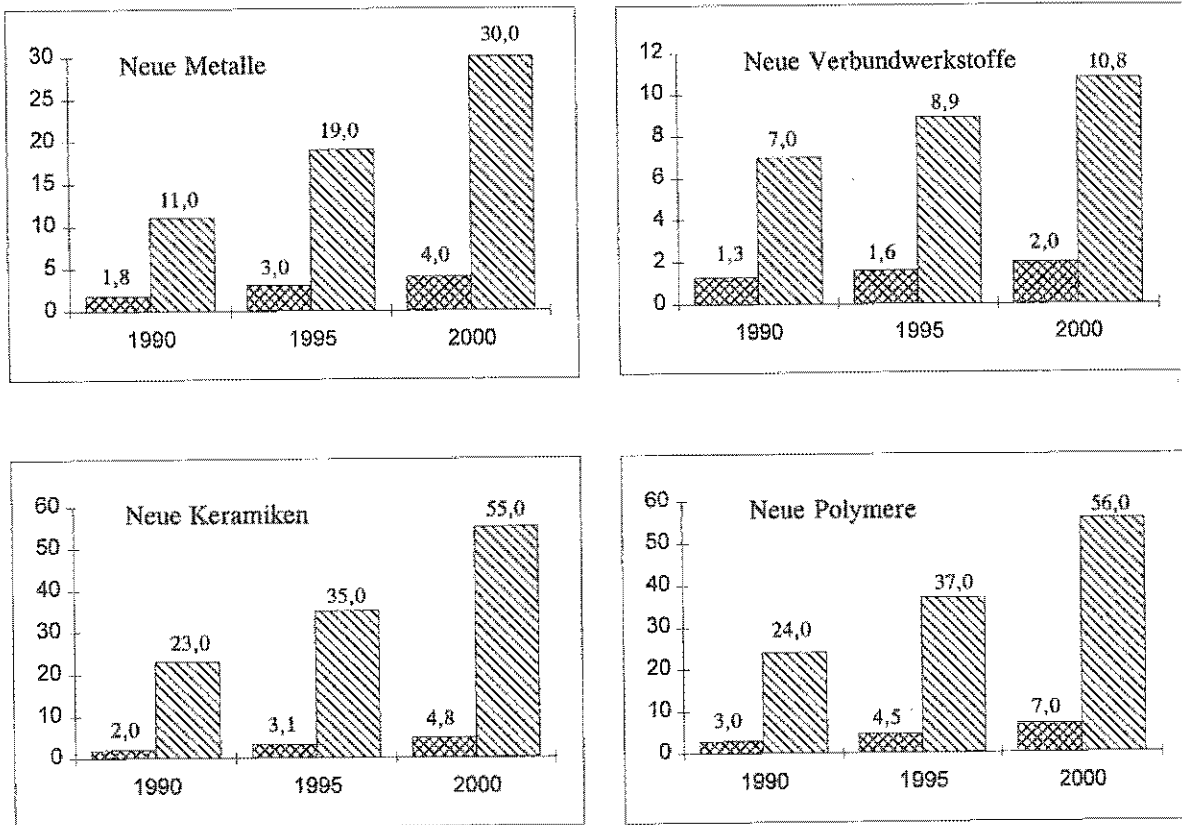
Bereits heute gibt es weltweit einen bedeutenden Markt für neue Werkstoffe, d.h. für Basismaterialien, Halbzeuge und Bauteile. Im Jahr 1986 betrug das Volumen dieses Marktes in Japan, den USA und der EG zusammen etwa 250 Mrd. DM. Dieser Wert für die Triade entspricht in guter Näherung dem Umfang des Weltmarktes für Werkstoffe, da der Beitrag des Restes der Welt in den verschiedenen Werkstoffklassen im allgemeinen klein (unter 10 %) oder nicht vorhanden ist. Im Jahre 1990 betrug der deutsche Anteil am Weltmarkt im Bereich neuer Werkstoffe im Durchschnitt nur 12 %. Davon entfielen 15 % auf Polymere, 15 % auf Keramik und 3,8 % auf Verbundwerkstoffe (BMFT, S. 21, 1994). Bis zum Jahr 2000 wird ein Wachstum des Marktvolumens für neue Werkstoffe auf 400 Mrd. DM erwartet (EG-Kommission 1993). Bei diesen Schätzungen sind in den Begriff "Neue Werkstoffe" konventionelle Werkstoffe mit wesentlich verbesserten Eigenschaftsprofilen einbezogen. Diese **verbesserten** Materialien besitzen gegenwärtig die größten Marktanteile. **Neue Werkstoffe** im engeren Sinne, also moderne Hochleistungsmaterialien mit neuer physikalischer Struktur oder chemischer Zusammensetzung, spielen derzeit unter Umsatzgesichtspunkten noch keine gewichtige Rolle.

Interessant ist eine Aufschlüsselung des Weltmarkts für neue Materialien nach Wertschöpfungsstufen. Für das Jahr 1990 wird der Weltmarkt für Basismaterialien neuer Hochleistungswerkstoffe auf etwa 8,0 Mrd. DM geschätzt. Das Marktvolumen der nächsten Stufen, der Halbzeuge und Bauteile, beträgt im selben Jahr weltweit ca. 65,0 Mrd. DM. Bis zum Jahr 2000 wird sowohl für die Basismaterialien als auch die Halbzeuge und Bauteile ein Wachstum der Marktvolumina um mehr als 100 % erwartet. Der Bereich der Basismaterialien wird dann einen Marktumfang von 18 Mrd. DM erreichen. Das Marktvolumen für Halbzeuge und Bauteile steigt auf 150 Mrd. DM. An dem prognostizierten Markt haben Halbzeuge und Bauteile aus Hochleistungspolymeren und -keramiken mit zusammen 73 % den weitaus größten Anteil.

Marktvolumina von Basismaterialien und Halbzeugen bzw. Bauteilen unterscheiden sich für einzelne Werkstoffklassen beträchtlich (siehe Abbildung 1). Beispielsweise liegt bei Hochleistungskeramikwerkstoffen der weltweite Marktumfang im Bereich der Bauteile im Jahr 1990 mit 23,0 Mrd. um mehr als elfmal höher als das Marktvolumen der Basismaterialien. Nach Schätzungen für das Jahr 2000 bleibt für Keramiken dieses Verhältnis infolge vergleichbarer Wachstumsraten für Basismaterialien und Bauteile in absehbarer Zukunft in etwa bestehen. In absoluten Zahlen wird ein Anstieg des Marktvolumens für Bauteile um ca. 32 Mrd. DM erwartet, während für die Basismaterialien nur ein Marktwachstum um 2,8 Mrd. DM prognostiziert wird.

Schätzungen über die Marktpotentiale von Basismaterialien sind allerdings von begrenzter Aussagekraft. In der Herstellung hochwertiger Produkte kommen zum Teil recht geringe Werkstoffmengen zum Einsatz. Zu beachten ist, daß diese geringen Mengen unter Marktgesichtspunkten unbedeutend sein können, jedoch vielfach auf der Produktebene eine erhebliche Wertschöpfung ermöglichen. Dies trifft z.B. für optische Komponenten der Lasertechnik zu. Ein weiteres Beispiel liefern Photoresists in der Elektronik, die weder nach Menge noch nach Wert große Marktbedeutung haben, aber in der Herstellung von Mikroelektronikbauteilen unabdingbar sind (IFO 1993).

Abbildung 1: Entwicklung weltweiter Marktvolumina für Basismaterialien und Halbzeuge bzw. Bauteile im Bereich der Hochleistungswerkstoffe von 1990 bis 2000 (nach AdL 1993) in Mrd. DM



Anwendungswahrscheinlichkeit neuer Werkstoffe

Marktpotentiale werden aus **Anwendungspotentialen** abgeleitet, die sich an Aspekten der technologischen Realisierbarkeit orientieren. Im Hinblick auf tatsächlich zu erwartende Markterfolge ist jedoch die Frage nach der **Anwendungswahrscheinlichkeit** von Werkstoffen und Technologien von zumindest gleichrangiger Bedeutung. Die Anwendungswahrscheinlichkeit wird durch eine Vielzahl von übergeordneten und materialunabhängigen Faktoren beeinflusst, die sich nicht direkt aus den geforderten Anwendungsprofilen ableiten. Dazu zählen auf betrieblicher Ebene etwa die Verfügbarkeit und der Entwicklungsstand von Fertigungstechnologien. Auf übergeordneter Ebene hängt die Anwendungswahrscheinlichkeit zusätzlich unter anderem von rechtlichen Rahmenbedingungen, der Umweltverträglichkeit der Werkstoffe und ihrer Herstellung, strukturellen Fragen, z.B. der Organisation der Werkstoffforschung und -entwicklung, und nicht zuletzt dem Grad der Kooperation zwischen Werkstoffentwicklern, -herstellern und -anwendern ab.

In der Tat sind die Markterfolge neuer Werkstoffe bislang häufig hinter den hochgesteckten Erwartungen aus der Entwicklungsphase zurückgeblieben. Dafür ist eine Vielzahl von Gründen zu benennen (Schmidt 1994, IFO 1993, INT 1993):

- Eine wichtige Triebfeder für die Werkstoffentwicklung stellt die Prognose von Anwendungsmärkten dar. In den meisten Fällen werden Neuentwicklungen nur vor dem Hintergrund sich abzeichnender Märkte begonnen. Diese Voraussetzung ist bei neuen Werkstoffen häufig nicht gegeben. Angesichts dieses Defizits ist die Einführung neuer Werkstoffe mit einem hohen unternehmerischen Risiko verbunden. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen sind oft nicht in der Lage, dieses Risiko allein zu tragen.
- In Europa erfolgt die Erforschung und Entwicklung im Bereich neuer Werkstoffe in beträchtlichem Maße in Großunternehmen. Insbesondere Technologieunternehmen entwickeln neue Werkstoffe mit systemermöglichenden Eigenschaften "In-house". An einer Vermarktung des Werkstoffs sind sie nicht interessiert. Kleine und mittlere Unternehmen finden oft keinen Anbieter für spezielle Werkstoffe, die nur in geringen Mengen benötigt werden. Zu eigenständigen FuE-Anstrengungen sind sie aufgrund ihrer begrenzten oder nicht vorhandenen Kapazitäten nicht in der Lage, so daß beträchtliche Anwendungspotentiale von Werkstoffinnovationen nicht marktwirksam werden.
- Zusätzlich erschweren oftmals lange Diffusionszeiten in den Markt (10 bis 15 Jahre) und der dadurch bedingte stark zeitverzögerte Mittelrückfluß nach Investition den Einsatz neuer Werkstoffe. Auch dies trifft in besonderem Maße auf kleine und mittlere Unternehmen zu.
- Bei manchen Anwendungen, vor allem bei Beschichtungen (Dünnschichttechnik) und Oberflächenmodifikationen von Bauteilen zur Verbesserung ihrer Eigenschaften, besteht nur geringer Mengenbedarf an neuen Werkstoffen.
- Die Substitution konventioneller durch neue Werkstoffe in der Industrie vollzieht sich nur bei deutlicher wirtschaftlicher und technologischer Überlegenheit der Substituenten. Dies liegt unter anderem an einer weit verbreiteten Grundhaltung der Werkstoffanwender, eher auf Materialien zurückzugreifen, mit denen bereits umfangreiche Erfahrungen vorliegen.
- Im Hinblick auf die Notwendigkeit der Einführung neuer Verarbeitungstechnologien beim Einsatz neuer Werkstoffe wird häufig konstruktiven Lösungen gegenüber der Substitution der Vorzug gegeben, da es hier in der Regel zu keiner gravierenden Veränderung etablierter produktionstechnischer Abläufe kommt.
- Hinzu kommt, daß in Substitutionsbereichen die Hersteller bisher verwendeter Werkstoffe ihre Marktanteile nicht kampflos aufgeben, verstärkte FuE-

Anstrengungen für Materialverbesserungen unternehmen oder mit Preissenkungen reagieren, die den Einsatz neuer Werkstoffe unrentabel machen.

- Insgesamt sind neue Werkstoffe in Substitutionsbereichen immer dann wenig erfolgreich, wenn lediglich eine reine Materialsubstitution angestrebt wird.

3. Fazit

Hohe Marktpotentiale und zum Teil beträchtliche Wertschöpfungen lassen neue Werkstoffe zu einem attraktiven Bereich unternehmerischer Aktivitäten werden. Neue Werkstoffe haben eine Schrittmacherfunktion insbesondere für Entwicklungen im Bereich der Schlüsseltechnologien. Der wirtschaftliche Erfolg von Werkstoffinnovationen ist dann groß, wenn durch sie mit neuen Produkten neue Märkte erschlossen werden können. Der Substitutionswettbewerb mit klassischen Werkstoffen für reife Technologien und etablierte Märkten vollzieht sich dagegen deutlich langsamer. Insbesondere Strukturwerkstoffe können sich auf dem Markt nur dann durchsetzen, wenn sie preislich attraktiver sind als die vorher eingesetzten Werkstoffe. Funktionswerkstoffe, die nur in geringen Mengen benötigt werden, finden oft keine Hersteller, da die Wertschöpfung zu gering ist und Prognosen über die zukünftige Marktentwicklung unsicher sind. Während Technologiekonzerne systemermöglichende Werkstoffe "In-house" entwickeln, verzichten kleine und mittlere Unternehmen oftmals auf die Entwicklung und den Einsatz neuer Werkstoffe. **Um diese Unternehmen stärker als bisher zu befähigen, am Markt für neue Werkstoffe zu agieren, muß der Wissens- und Technologietransfer beschleunigt und intensiviert werden, da durch die schnelle Überführung von aufbereiteten Forschungsergebnissen kleine und mittlere Unternehmen Marktchancen ohne eigenständige Vorlaufforschung nutzen könnten.**

III. Umwelteinflüsse neuer Werkstoffe

1. Zur ökologischen Bewertung neuer Werkstoffe

Der Werkstoffbereich ist ein Technologiefeld mit ausgeprägtem Schlüsselcharakter im industriellen Produktionsgeschehen und weitreichenden Verflechtungen mit anderen Technologiebereichen. Anthropogene Einwirkungen auf die Umwelt gehen in erheblichem Ausmaß auf den Umgang mit Werkstoffen zurück. Infolge der großen Bedeutung von Werkstoffen für die Produktion von Gütern und der Breite des Spektrums der verwendeten Werkstoffe und der werkstoffspezifischen Gewinnungs-, Herstellungs- und Nutzungsarten sind die Einflüsse auf ökologische Systeme weitreichend und vielfältig. Umfangreiche, anthropogen bedingte Stoff- und Energieströme führen sowohl im regionalen als auch im globalen Maßstab zu substantiellen Veränderungen ökologischer Haushalte, von denen abiotische Elemente wie Luft, Wasser oder Böden ebenso betroffen sind wie Mikroorganismen und höhere Lebewesen. Art und Ausmaß ökologischer Wirkungen hängen vom Umfang der Stoff- und Energieflüsse sowie von ihrer Qualität ab. Massenwerkstoffe sind aus ökologischer Sicht gleichermaßen relevant wie Werkstoffe mit kleinen Mengenumsätzen.

Vor diesem Hintergrund sind wesentliche Entwicklungslinien im Bereich neuer Werkstoffe aus ökologischer Sicht von besonderem Interesse. Wichtige Charakteristika neuer Werkstoffe wie z.B. aufwendige Herstellungsverfahren, eine hohe strukturelle Komplexität und Beständigkeit gegen extreme thermische oder chemische Einsatzbedingungen eröffnen zwar einerseits die Möglichkeit zur Realisierung neuer, auch aus ökologischer Sicht attraktiver Anwendungen. Sie sind jedoch gleichzeitig häufig von einer hohen Eingriffstiefe in Naturhaushalte und einer wachsenden Entfernung zu natürlichen Strukturen und Prozessen geprägt. In vielen Fällen ist durch die für die Anwendung gewollte Widerstandsfähigkeit gegen extreme Einflüsse z.B. die Recyclingfähigkeit eingeschränkt.

Aus diesem Grund muß den möglichen Auswirkungen neuer Werkstoffe auf die Umwelt erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Berücksichtigung ökologischer Aspekte zu einem möglichst frühen Zeitpunkt, d.h. bereits in den Prozeß der Werkstoffforschung und -entwicklung, ermöglicht die gezielte Verringerung der mit dem Werkstoffeinsatz potentiell verbundenen Umweltfolgen.

Angesichts eines wachsenden ökologischen Problembewußtseins in der Gesellschaft und der von staatlicher Seite bereits getroffenen Maßnahmen, wie z.B. der

Verabschiedung des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes, ist die Integration ökologischer Aspekte in Prozesse der Werkstoffentwicklung auch im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit von steigender Bedeutung.

Das Ziel der Reduzierung anthropogener Umweltbelastungen erfordert neben der Stoffbewertung selbst eine umfassende Bewertung der ökologischen Wirkung dieser Stoffe in den durch sie ermöglichten Technologien.

Diese Bewertung sollte gemeinsam von Werkstoffherstellern und -enanwendern erarbeitet werden. Im Hinblick auf die ökologischen Wirkungen neuer Werkstoffe ist eine solche umfassende Analyse entlang der Wertschöpfungskette besonders wichtig. Die Vielfalt neuer Werkstoffe und die wachsende Fähigkeit zur "Maßschneiderung" ihrer Eigenschaftsprofile durch moderne Herstellungsverfahren führen dazu, daß in zunehmendem Maße völlig verschiedene Werkstoffe um den gleichen Einsatzbereich konkurrieren. Werkstoffanwender sehen sich dadurch verstärkt in der Lage, die angestrebte technologische Dienstleistung zunächst unabhängig von Stoffeigenschaften zu definieren und an den Ausgangspunkt ihres Entwicklungsprozesses zu stellen. Im Anschluß an die Bestimmung der Funktion des technischen Systems kann die Werkstoffauswahl getroffen oder in Kooperation mit Werkstoffherstellern auf die Maßschneiderung von Werkstoffen hingearbeitet werden. Dadurch wird auch für Werkstoffanwender die Möglichkeit eröffnet, die umweltrelevanten Eigenschaften und Wirkungen der Endprodukte zu optimieren.

Regeln für den anthropogenen Umgang mit Stoffen

Die Enquête-Kommission des 12. Deutschen Bundestages "Schutz des Menschen und der Umwelt - Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft" hat 1994 dem Deutschen Bundestag Vorschläge für die Gestaltung einer nachhaltig zukunftsfähigen Entwicklung vorgelegt. Die von der Enquete Kommission formulierten Regeln für den anthropogenen Umgang mit Stoffen sind auch für die Bewertung der Umwelteinflüsse neuer Werkstoffe zu beachten:

- "(1) Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen soll deren Regenerationsraten nicht überschreiten. Dies entspricht der Forderung nach Aufrechterhaltung der ökologischen Leistungsfähigkeit, d.h. (mindestens) nach Erhaltung des von den Funktionen her definierten ökologischen Realkapitals.*
- (2) Nicht erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.*

- (3) *Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren, wobei alle Funktionen zu berücksichtigen sind, nicht zuletzt auch die "stille" und empfindlichere Regelungsfunktion.*
- (4) *Das Zeitmaß anthropogener Einträge bzw. Eingriffe in die Umwelt muß im ausgewogenen Verhältnis zum Zeitmaß der für das Reaktionsvermögen der Umwelt relevanten natürlichen Prozesse stehen." (Enquete- Kommission, S.23f, 1994)*

Mit den von der Enquête-Kommission entwickelten Ansätzen wird versucht, stoffökologische, ökonomische und innovationsorientierte Handlungsebenen einer neuen Stoffpolitik zu verknüpfen. Nach Meinung der Enquête-Kommission müssen auch Werkstoffsubstitutionen und -innovationen grundsätzlicher als bisher an den Regeln des Stoffstrommanagements orientiert werden:

„Substitution

Die Gründe für die Substitution von Werkstoffen waren entweder die Kosten des Rohstoffes, die Kosten seiner Verarbeitung bis zum Produkt, die technischen Möglichkeiten der Verarbeitung oder die bessere Funktionserfüllung für den jeweiligen Anwendungsfall. Heute kommen die in den grundlegenden Regeln formulierten Anforderungen hinzu. Sie machen es erforderlich, den Energie- und Ressourcenverbrauch, die Recycling- bzw. Demontagefähigkeit sowie Schadstoffemissionen bei der Werkstoffwahl frühzeitig zu bedenken.

Innovation

Über die Möglichkeit der Substitution verschiedener Werkstoffe zur Erfüllung der gleichen Funktion hinaus, ist vor allem die Fähigkeit zur Entwicklung neuer Werkstoffe, Verfahren und Produkte durch die Entfaltung des menschlichen Erfindungsreichtums zu betonen. Zur Verwirklichung des Leitbildes einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung sind unter dem Aspekt der zweiten grundlegenden Regel insbesondere zwei Richtungen für Innovationen zu betonen:

- *Innovationen, die eine Effizienzsteigerung bei der Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen bewirken. Damit kann mehr Zeit für den Übergang zu erneuerbaren Ressourcen gewonnen werden. Hierzu gehören auch verbesserte Methoden der Exploration und der Nutzung von Lagerstätten.*
- *Innovationen, die eine Effizienzsteigerung bei der Nutzung erneuerbarer Ressourcen im Sinne der ersten grundlegenden Regel bewirken. Die Nutzung erneuerbarer Ressourcen kann so kostengünstiger gestaltet und systematisch ausgebaut werden und damit zur Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen beitragen."(Enquete- Kommission S. 50f,1994).*

Um diese Vorschläge für aktuelle Werkstoffentwicklungen berücksichtigen zu können, müssen Kriterien für die Bewertung der Umwelteinflüsse neuer Werkstoffe zur Verfügung stehen.

Kriterien für die Bewertung der Umwelteinflüsse neuer Werkstoffe

Das zentrale Problem der ökologischen Bewertung von neuen Werkstoffen und Werkstoffen allgemein besteht in der Festlegung der den Wertungen zugrundeliegenden **Kriterien**. Eine umfassende **Zusammenstellung und Gewichtung** angemessener Bewertungskriterien wird als Orientierungslinie für weitere Entwicklungen im Werkstoffbereich unumgänglich. Die Notwendigkeit eines solchen aktualisierten Kriterienkataloges gründet sich u.a. auf folgende Aspekte:

- Bislang lag der Schwerpunkt bei der Analyse von Umwelteinflüssen neuer Werkstoffe zu einseitig auf Emissionen und (öko-)toxischen Wirkungen, die vor allem Mikroorganismen und höhere Lebewesen betreffen. Nicht-ökotoxische Wirkungen auf die abiotische Umwelt wurden nicht in angemessener Weise berücksichtigt.
- Die derzeit verfolgte Umweltschutzstrategie stellt zu stark auf eine isolierte Reduktion von Stoff- und Energieflüssen ab. Hohe anthropogene Stoffströme sind noch kein ökologisches Übel an sich, wenn ausreichende Kapazitäten zu einer ökologisch verträglichen Wiederverwertung oder Entsorgung bestehen.
- Wesentliche Charakteristika neuer Werkstoffe wie die wachsende Eingriffstiefe in natürliche Prozesse und Strukturen deuten auf eine mögliche Zunahme ökologischer Risiken hin.
- Die tatsächlichen künftigen ökologischen Auswirkungen neuer Werkstoffe sind aber nicht hinreichend bekannt und können auch durch vermehrte Forschungsanstrengungen nie vollständig beschrieben werden, da die Komplexität der Wechselwirkungsprozesse ihrer Erkennbarkeit eine prinzipielle Grenze setzt. Außerdem herrscht weitgehend Unsicherheit über die Marktentwicklung im Bereich neuer Werkstoffe. Nicht behebbaren Ungewißheiten muß durch eine entsprechend verantwortungsvolle Bewertung der ökologischen Risiken neuer Werkstoffe Rechnung getragen werden.
- Es sind Kriterien erforderlich, die eine vergleichende Bewertung einzelner Umweltwirkungen im Laufe des Lebenszyklus eines Werkstoffes erlauben. Beispielsweise kann die Verbesserung der Material- und Energieeffizienz neuer Werkstoffe unter Umständen durch Erzeugung in der Natur nicht vorhandener Strukturen erzielt und damit möglicherweise von einer Steigerung des ökologischen Risiko- und Schadenspotentials begleitet werden, da die synthetisch erzeugten Stoffe durch ihre Naturferne entweder nicht abbaubar

sind oder zu nicht vorhersehbaren, ökologisch bedenklichen Wechselwirkungen mit der Umwelt führen können.

Die Chance zur Energieeinsparung während des Einsatzes eines Werkstoffes bringt aus ökologischer Sicht nicht unbedingt Gewinn, wenn zur Herstellung des Werkstoffes ein hoher energetischer Aufwand erforderlich ist. Die Verwendung eines nicht oder nur unter hohem Wertverlust rezyklierbaren Werkstoffes kann ökologisch sinnvoll sein, wenn der Werkstoff in der Anwendung deutliche ökologische Vorteile, wie z.B. eine lange Lebensdauer, aufweist.

Ökobilanzen und Produktlinienanalysen

Die Entwicklung von konsensualen Kriterien der ökologischen Bewertung ist eine entscheidende Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit von **Produktlinienanalysen** und **Ökobilanzen**. Produktlinienanalysen und Ökobilanzen sind Informations-, Planungs- und Kontrollinstrumente der Produktpolitik zur Erfassung, Analyse und Bewertung der Auswirkungen von Produkten entlang ihres Lebensweges. Dabei bildet die Ökobilanz einen Bestandteil der Produktlinienanalyse, der sich mit den ökologischen Auswirkungen befaßt; die vollständige Produktlinienanalyse schließt zusätzlich ökonomische und soziale Wirkungen des Produktlebensweges ein.

Gegenwärtig befinden sich diese beiden Instrumente intensiv in der Diskussion und werden aller Voraussicht nach in künftigen Bewertungsprozessen eine zentrale Funktion einnehmen. Allerdings liegt bislang eine allgemein anerkannte Definition hinsichtlich der Struktur von Ökobilanzen noch nicht vor. Auf der Ebene der Europäischen Union gibt es Bemühungen um eine Systematisierung und Objektivierung von Ökobilanzen. In jedem Fall stellen Ökobilanzen einen mehrstufigen Prozeß dar, dessen Verlauf im wesentlichen den folgenden Schritten folgt:

1. Scoping (Alternativenauswahl, Festlegung der untersuchten Varianten und Szenarien)
2. Analyse der Stoff- und Energieströme über den gesamten Produktlebenszyklus
3. Analyse der ökologischen Auswirkungen dieser Stoff- und Energieströme
4. Bewertung der Auswirkungen
5. Optimierungsvorschläge

Zur Zeit sind die Erwartungen an Ökobilanzen oft unrealistisch hoch. Ihrer breiten Anwendung steht noch eine Reihe von Problemen entgegen. Dazu ist vor allem zu rechnen, daß auf jeder Stufe einer Ökobilanz subjektive Faktoren eine große Rolle spielen. Dies beginnt bereits bei der Festlegung der Ziele, des Bi-

lanzzeitraumes und der Auswahl zu berücksichtigender Parameter, die entscheidend vom Auftraggeber und dessen Interessenlage abhängen. Stoff- und Energiebilanzen wichtiger Grundstoffe, Materialien und Hilfsmittel sind in der Regel ausreichend quantitativ erfaßbar. Dagegen stößt die Erstellung einer ökologischen Wirkungsbilanz unter Einbeziehung nicht-(öko-)toxischer Wirkungen schnell an Wissens- und Zugänglichkeitsgrenzen. Schließlich erfordert die Bewertung der ökologischen Auswirkungen ein Wertesystem, das über naturwissenschaftlich-technische Bewertungskriterien hinausgeht (INT 1993).

Gerade an dieser Stelle jedoch kommen Ökobilanzen und andere Instrumente ökologischer Optimierung zumeist nicht weiter. Unter Sachverständigen besteht Einigkeit darüber, daß die zur Verfügung stehenden Kriterien der ökologischen Bewertung von Stoff- und Energiebilanzen subjektiver Art sind. Selbst bei Eini-gung auf einen Kriterienkatalog verbleibt das schwierige Problem der Gewichtung der Kriterien; die Frage nach der ökologisch besseren Alternative kann meist nicht zufriedenstellend beantwortet werden. Hinzu kommt, daß die der Bewertung zugrundeliegenden Kriterien dynamische Ziele reflektieren, die sich mit dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis oder durch den Wandel gesellschaftlicher Werthaltungen verändern können.

Zudem ist eine ökologische Bewertung neuer Werkstoffe allein nicht hinreichend. Eine Steigerung ökologischer Risiken in Teilbereichen des Werkstofflebenszyklus ist nicht a priori unvertretbar. Sie muß vielmehr in Relation gesetzt werden zu den insgesamt erwartbaren positiven ökonomischen, gesellschaftlichen und ökologischen Folgen, d.h. dem Nutzen des Umgangs mit diesem Werkstoff. **Unter Umständen wiegen die durch den Werkstoffeinsatz erreichbaren Ziele nicht-ökologischer Art aus gesamtgesellschaftlicher Sicht die während seines Lebenszyklus auftretenden Beeinträchtigungen der Umwelt auf.**

Ökobilanzen werden in Unternehmen zur Optimierung von Produktlinien und zum Vergleich von Produkten eingesetzt. Aus Personal- und Kostengründen arbeiten kleine und mittlere Unternehmen derzeit kaum mit oder an Ökobilanzen (Enquête-Kommission, S. 314, 1994). Diesen Unternehmen könnte durch die Bereitstellung von Sachbilanzdaten für einzelne Abschnitte des Lebensweges von Stoffen oder von anderen standardisierten Daten der notwendige Zugang zu Ökobilanzen erleichtert werden. Hier ist auch die Forschungspolitik gefordert, ökologisch orientierten Ansätzen zu einer breiteren Anwendung zu verhelfen. Im Bereich der Werkstoffforschung könnte dies u.a. über die frühzeitige Berücksichtigung von Grundsätzen und Regeln des Stoffstrommanagements in Werkstoffforschungsprojekten geschehen.

2. Berücksichtigung von Umwelteinflüssen neuer Werkstoffe

Neue Werkstoffe erweitern das ökologische Wirkungsspektrum des Werkstoffbereiches unter Umständen um zusätzliche und zum Teil qualitativ neue Umwelteinflüsse. Dabei ist der Begriff "Umwelteinflüsse" zunächst neutral als die Bilanz der Stoff- und Energieflüsse im Laufe des Lebenszyklus von Werkstoffen zu verstehen. Entscheidend für die Wirkung der Umwelteinflüsse ist, welche Austauschprozesse sich zwischen diesen Stoff- und Energieflüssen und der natürlichen Umwelt entwickeln. Der Umgang mit neuen Werkstoffen kann zu einer Zunahme der Umweltbelastungen, zu relativen Entlastungen oder auch zu Verbesserungen der ökologischen Qualität der Umwelt führen. Vor diesem Hintergrund birgt das stete Vordringen neuer Werkstoffe in die industrielle Produktion sowohl ökologische Chancen als auch Risiken.

Häufig werden die positiven Eigenschaften und Wirkungen neuer Werkstoffe hervorgehoben. Dazu zählen etwa lange Werkstofflebensdauer, die Möglichkeit zur Einsparung von Energie-, Material- und Humanressourcen bei der Anwendung oder eine gute Wiederverwendbarkeit bzw. Entsorgbarkeit. Gleichzeitig jedoch können charakteristische Eigenschaften neuer Werkstoffe und ihrer Herstellungsprozesse negative Umweltwirkungen hervorrufen. Als problematisch sind in diesem Zusammenhang insbesondere die Synthese naturferner Stoffe, sehr hohe Anforderungen an die Reinheit und mikrostrukturelle Beschaffenheit neuer Werkstoffe und damit einhergehende extreme Herstellungs- und Verarbeitungsbedingungen anzusehen. Die Naturferne kann dafür verantwortlich werden, daß sich neue Werkstoffe nicht in natürliche Stoffkreisläufe eingliedern lassen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt können die ökologischen Folgen neuer Werkstoffe nicht zufriedenstellend abgeschätzt und bewertet werden. Die dazu erforderlichen umfassenden Informationen sind entweder nicht vorhanden oder nicht entsprechend aufbereitet. Systematische und detaillierte Untersuchungen zu den Umwelteinflüssen neuer Werkstoffe liegen bislang nicht vor. Materialbezogene Forschungsprogramme des BMFT und der Europäischen Gemeinschaft haben diesem Problem bisher keine spezifische und intensive Aufmerksamkeit gewidmet (IÖW 1994).

Weiterhin sind die Anwendungswahrscheinlichkeiten neuer Werkstoffe im einzelnen ungewiß. Substitutionswettbewerbe und die mögliche Öffnung neuer Anwendungsfelder spielen dabei eine entscheidende Rolle. Bei manchen neuen Werkstoffen besteht eine nennenswerte Diskrepanz zwischen den geringen Mengen, die derzeit produziert werden, und den erwarteten bzw. erhofften Mengen.

Daraus kann die Gefahr erwachsen, daß angesichts gegenwärtig nicht vorhandener Umweltbelastungen die Notwendigkeit der Gestaltung eines integrierten und präventiv orientierten Umweltschutzes in den Hintergrund gedrängt wird.

Die Einführung moderner effizienter Herstellungsverfahren im Werkstoffbereich zieht Rückgänge im Rohstoffbedarf nach sich. Moderne Synthese- und Bearbeitungsverfahren eröffnen zunehmend Möglichkeiten zur sparsamen Verwendung von Ausgangsstoffen. Ein Beispiel dafür stellt die „endkonturnahe“ Fertigung ("near-net-shape-production") dar, die eine Reduktion von Produktionsabfällen in der Phase der Endbearbeitung von Bauteilen oder Produkten ermöglicht. Die verstärkte Verwendung von Sekundärrohstoffen (auch durch verordnetes Recycling) wirkt hemmend auf den Primärrohstoffbedarf.

Insgesamt setzt sich in modernen technologischen Entwicklungen im Werkstoffbereich die Tendenz der Senkung der Rohstoff- und Materialintensität in industriellen Produktionsprozessen fort.

Gleichzeitig jedoch besteht in vielen Bereichen der Produktion neuer Werkstoffe die Möglichkeit einer **Steigerung der Energieintensität**. Die hohen Anforderungen an neue Werkstoffe in bezug auf Reinheit, das Ziel der Beeinflussung des Mikrogefüges und die Synthese von Werkstoffen unter Verwendung bisher nicht legierbarer oder mischbarer Ausgangsmaterialien bedingen in vielen Fällen einen erheblichen prozeßtechnischen Aufwand. Zum Teil sind extreme Prozeßbedingungen (hohe Temperaturen) oder aufwendige Bearbeitungsverfahren erforderlich. Beispielsweise ist der Einsatz von Laserwerkzeugen mit einem großen Energieaufwand verbunden. Selbst bei den leistungsfähigsten Lasern kommen derzeit infolge ihres geringen Wirkungsgrades nur etwa 20 % der eingesetzten Energie auf dem Werkstück zur Wirkung, während z.B. mit einer konventionellen Drehmaschine 90 % zu erreichen sind.

Die Gewinnung neuer Rohstoffe für die Herstellung neuer Werkstoffe verursacht voraussichtlich keine wesentlichen neuen Belastungen der Umwelt (Socher, Rieken 1994). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, daß häufig nur geringe Mengen benötigt werden. Hinzu kommt, daß moderne Herstellungs- und Bearbeitungstechniken gegenüber der Verwendung neuer Rohstoffe eine dominierende Rolle in der Werkstoffproduktion einnehmen. In Einzelfällen können jedoch auch bei neuen Rohstoffen, die nur in relativ geringen Mengen benötigt werden, zusätzliche Belastungen der Umwelt auftreten. Ausschlaggebend dafür sind hohe Extraktionstiefen durch geringe Zielrohstoffgehalte des abgebauten Gesteins und ein damit einhergehender Anstieg des Abraumanfalls und des Energieaufwandes in der Rohstoffgewinnung.

Zusammenfassend können folgende ökologisch bedeutsame Tendenzen im Bereich neuer Werkstoffe formuliert werden:

- Bei der Herstellung neuer Werkstoffe nimmt die Eingriffstiefe in natürliche Strukturen und Prozesse zu.
- Damit einhergehend wachsen der energetische und der verfahrenstechnische Aufwand in der Werkstoffherstellung zum Teil beträchtlich.
- In der Phase der Anwendung eröffnen neue Werkstoffe die Möglichkeit zu nennenswerten Einsparungen an Energie-, Material- und Humanressourcen.
- Beim Recycling und bei der Entsorgung ergibt sich für die einzelnen Klassen neuer Werkstoffe ein sehr unterschiedliches Bild.

Kooperation entlang der Wertschöpfungskette

Im Interesse einer möglichst großen Reichweite sollte die Integration ökologischer Aspekte in die Werkstoffforschung in Abstimmung mit nachgelagerten Werkstoffherstellern, -verarbeitern und -anwendern erfolgen. Die ökologischen Bedingungen des Einsatzes von Werkstoffen und Produkten sowie die Produktziele müssen frühzeitig in den Forschungs- und Entwicklungsprozeß einbezogen werden, um eine vergleichende Gewichtung relevanter Gesichtspunkte wie etwa einer Entwicklung auf Kreislauffähigkeit, dem energetischen und Verfahrensaufwand bei der Werkstoffverarbeitung oder den energetischen Einsparmöglichkeiten in der Anwendung zumindest im Ansatz zu ermöglichen.

Eine bereichsübergreifende Kommunikation und Kooperation entlang der Wertschöpfungskette kann die Effektivität und Effizienz ökologisch orientierter Maßnahmen beträchtlich steigern.

Die Notwendigkeit dieser Kooperation kann am Beispiel des ökologischen Produktdesigns verdeutlicht werden. Wichtige Grundgedanken einer ökologisch orientierten Produktgestaltung haben direkten Bezug zur Werkstoffforschung und weitergehend zum Stoffstrommanagement. So setzen zum Beispiel die Prinzipien der Werkstoffminimierung, der Minderung der Stoffvielfalt oder der Verwendung recyclingfähiger Werkstoffe die Verfügbarkeit entsprechender Werkstoffe voraus, die unter Berücksichtigung dieser Prinzipien eine Aufrechterhaltung aller gewünschten Produktfunktionen gewährleisten. Bei vielen Leitprinzipien der ökologischen Produktgestaltung handelt es sich damit um **Querschnittsprinzipien** mit übergreifender Bedeutung für die gesamte Wertschöpfungskette, die bereits in die Phase der Werkstoffforschung und -entwicklung eingehen sollten. Diese Querschnittsprinzipien zeigen deutlich die wechselseitige Abhängigkeit ökologischer Strategien in den Bereichen des Produktdesigns und der Werkstoffforschung. Ohne umweltverträgliche Werkstoffe ist eine ökologische Produktgestal-

tung nicht möglich; die ökologischen Vorteile rezyklierfähiger Werkstoffe werden verspielt, wenn die Produktkonstruktion einer Demontage und Sortentrennung im Wege steht. Innerhalb des Kataloges von Leitprinzipien sind Zielkonflikte nicht vermeidbar. Sie ergeben sich beispielsweise zwischen der Forderung nach Verwendung langlebiger korrosionsbeständiger Bauteile und der Ausrichtung auf leichte Rezyklierbarkeit oder Entsorgbarkeit.

Unternehmerische Aspekte

Gegenwärtig wird auf Unternehmensebene die Einbeziehung ökologischer Belange bereits im Rahmen von Forschung und Entwicklung überwiegend nicht realisiert. Zwar stellt der Umweltschutz in vielen Unternehmen einen als bedeutsam erachteten Bestandteil der Unternehmensphilosophie dar. Dies drückt sich in umfangreichen Anstrengungen zur umweltverträglichen Gestaltung der Produktion aus. In den Zielkatalogen der Forschungs- und Entwicklungsabteilungen von Unternehmen jedoch ist die Entwicklung umweltverträglicher Stoffe, Verfahren oder Produkte nur von untergeordneter Bedeutung. Anregungen aus betrieblichen Umweltschutzinstitutionen werden relativ selten in Forschungs- und Entwicklungsziele umgesetzt. Angesichts des signifikanten Potentials zur Schadenvermeidung oder -minderung auf der Ebene von Forschung und Entwicklung ist dieses Defizit besonders folgenschwer (Ammon 1994).

Es gibt in der Industrie weitgehend keine lebenszyklusphasen-übergreifende Kooperation bei der Entwicklung und Verfolgung werkstoffbezogener Umweltschutzstrategien.

Im Bereich der betrieblichen Materialwirtschaft haben stoffbezogene Präventivmaßnahmen und die Leitidee der Stoffkreisläufe noch nicht den erforderlichen Stellenwert erreicht. Dies belegen Ergebnisse einer im Auftrag des Bundesministers für Umwelt durchgeführten empirischen Studie durch die "Forschungsgruppe Umweltorientierte Unternehmensführung" aus dem Jahr 1991 (Antes 1992):

- Im Bereich der betrieblichen Materialwirtschaft gibt es ausgeprägte Zielkomplementaritäten zwischen materialwirtschaftlichen und Umweltschutzziele.
- Die wichtigsten Impulse für Umweltschutzmaßnahmen in diesem Bereich stellen gesetzliche Vorschriften (in 83 % der befragten Unternehmen) dar.
- Die Aufbereitung von Umweltschutz-Informationen für materialwirtschaftliche Entscheidungen ist gegenwärtig noch unzureichend.

- Vorhandene günstige Ausgangsbedingungen für eine integrierte, umweltorientierte Kooperation auf der gesamten logistischen Strecke werden derzeit nicht genutzt.
- Umweltschutz in materialwirtschaftlichen Bereichen ist derzeit noch immer ordnungsrechtlich-technisch orientiert und weitgehend vom Ziel der Entsorgung geprägt.

In der nahen Zukunft sind jedoch grundlegende Veränderungen in den strategischen Zielsetzungen betrieblicher Umweltschutzmaßnahmen zu erwarten. Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz wird notwendigerweise eine Neuorientierung des industriellen Umweltschutzes vor allem hinsichtlich der Wiederverwendung und Wiederverwertung von Stoffen mit sich bringen. Es ist zu erwarten, daß sich dabei ökologische Prinzipien auch in der Ausrichtung der Werkstoffforschung und -entwicklung niederschlagen.

Staatliche Aspekte

Dem Staat obliegt es, den Aspekten des Umweltschutzes im Werkstoffbereich durch die Gestaltung ökologisch relevanter Rahmenbedingungen zu größerem Gewicht zu verhelfen. Zu den wichtigsten staatlichen Maßnahmebereichen im Umweltschutz zählen

- staatliche Auflagen, Verordnungen und Produktnormen;
- die Förderung einer umweltorientierten Forschung und Entwicklung;
- umweltpolitische Abgaben und Steuern;
- Investitionshilfen und Abschreibungsregelungen sowie
- die umweltorientierte Ausrichtung der öffentlichen Beschaffung.

Im Hinblick auf die Entwicklung neuer Werkstoffe sind vor allem der rechtliche und gesetzgeberische Bereich sowie die Gestaltung der Forschungsförderung von Interesse. Eine zukünftige Aufgabe der Forschungs- und Technologiepolitik im Werkstoffbereich ist die verstärkte Förderung der Einbindung ökologischer Aspekte (so z.B. der Regeln des Stoffstrommanagements) in den Innovationsprozeß. Dies könnte durch die Entwicklung und Einführung eines Förderkonzeptes erreicht werden, das für die industrielle und staatlich getragene Werkstoffforschung Anreize zur Berücksichtigung möglicher ökologischer Auswirkungen neuer Werkstoffe bereits innerhalb des Forschungs- und Entwicklungsprozesses schafft.

Die Forderung, Innovationen im Werkstoffbereich zunehmend am Leitbild der nachhaltig zukunftsfähigen Entwicklung zu orientieren, sollte zur Berücksichti-

gung von schadstoff- und generell stoffpolitischen Zielsetzungen führen (BMFT 1994, Enquête 1994):

Schadstoffpolitische Zielsetzungen (qualitativer Aspekt)

- Substitution von umweltgefährlichen und toxischen Einsatzstoffen,
- Ersatz von schwer abbaubaren durch leicht abbaubare Stoffe,
- Reduktion der Freisetzung von Schadstoffen durch geschlossene Kreisläufe in der Produktion, Begrenzung von Emissionen, Beschränkung von Transporten.

Generelle stoffpolitische Zielsetzungen (quantitativer Aspekt)

- Verringerung des Rohstoffeinsatzes,
- Verminderung des Stoffeinsatzes pro Produkt,
- Verminderung des Energieeinsatzes,
- Verlangsamung des Stoffflusses durch Erhöhung der Lebensdauer von Produkten,
- Einsatz von Sekundärrohstoffen und nachwachsenden Rohstoffen,
- Begrenzung der Stoffvielfalt in komplex aufgebauten Produkten,
- Erhöhung der Wieder- und Weiterverwendbarkeit von Produkten,
- Erhöhung der Transparenz hinsichtlich des Stoffeinsatzes und der Stoffströme.

Die Implementierung und Operationalisierung dieser Zielsetzungen in staatlichen Programmen zum Umweltschutz und zur Technologieförderung wird zukünftig von grundsätzlicher Bedeutung für die Durchsetzung der Prinzipien der nachhaltigen Entwicklung sein.

3. Fazit

Der Einsatz neuer Werkstoffe kann während des gesamten Lebenszyklus zu beträchtlichen Einsparungen an Grundstoffen und Energie und somit zu spürbaren Entlastungen der Umwelt führen. Beginnend mit einer umfassenden Beschreibung möglicher Umwelteinflüsse bei der Herstellung, Nutzung und Rezyklierung/Entsorgung können neue Werkstoffe auch unter Berücksichtigung ökologischer Belange maßgeschneidert entwickelt werden und somit einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltig zukunftsfähigen Entwicklung leisten.

Neue Funktionswerkstoffe in Hoch- und Schlüsseltechnologien ermöglichen völlig neuartige Anwendungen, die z.B. beim Einsatz im Bereich der Informations-

und Kommunikationstechnologien zu grundsätzlichen Veränderungen von Stoff- und Energieströmen führen können. Diese im Prinzip bekannten, beim gegenwärtig äußerst begrenzten Wissensstand jedoch oftmals nur qualitativ beschreibbaren Effekte müssen den Umweltbeeinflussungen, die bei der Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung neuer Werkstoffe auftreten können, gegenübergestellt werden, da neue Werkstoffe sich oftmals durch eine große stoffliche und energetische Eingriffstiefe auszeichnen. So sind sie oftmals schwer abbaubar und in vielen Fällen nur mit beträchtlichem Aufwand wieder in industrielle Stoffkreisläufe rückführbar.

Die Werkstoffforschung steht deshalb langfristig vor der Herausforderung, solche Materialien zu entwickeln, die umweltverträglich hergestellt werden können, sich durch eine lange Lebensdauer auszeichnen und durch Rückbau- oder Rezyklierbarkeit nur noch zu geringen Umweltbelastungen bei der Entsorgung führen. Dazu bedarf es eines Herangehens, **bei dem materialwissenschaftliche und technologische Aspekte der Werkstoffherstellung und -verarbeitung gemeinsam mit stoffökologischen Aspekten bearbeitet werden. Einen Förderschwerpunkt für dieser Form der bereichsübergreifenden Forschung müßten kleine und mittlere Unternehmen bilden, da diese aus eigener Kraft oftmals kaum in der Lage sind, Innovationen mit hohem ökologischen Anspruch voranzubringen und umzusetzen.**

IV. Wirkung rechtlicher Vorgaben auf Forschung, Entwicklung und Verwendung neuer Werkstoffe

1. Berücksichtigung neuer Werkstoffe im geltenden Recht

In Deutschland existiert ein vielfältiges Instrumentarium ordnungsrechtlicher und kooperativer Regelungen, die dazu vorgesehen sind, den Schutz des Menschen und der Umwelt vor Gefahrstoffen und anderen schädlichen Einflüssen bei der Entwicklung, Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung neuer Werkstoffe zu gewährleisten.

Das **Chemikaliengesetz** zielt darauf ab, vor dem Inverkehrbringen neuer Stoffe deren Umweltverträglichkeit und Aspekte des Gesundheitsschutzes zu klären. Neue Stoffe unterliegen ab einer Menge von 100 kg Jahresproduktion einer Anmeldepflicht. Im Rahmen dieses Verfahrens muß der Hersteller nach gesetzlich vorgeschriebenen Kriterien die Datenbasis zur Beurteilung des stoffspezifischen Gefährdungspotentials ermitteln und den zuständigen Behörden bereitstellen. Darüber hinaus soll durch eine entsprechende Kennzeichnung und ein ausführliches Sicherheitsdatenblatt den (gewerblichen) Anwendern ein sachgerechter Umgang mit dem Stoff ermöglicht werden. Angaben zur Wiederverwertung gehören als Information zur sachgerechten Verwendung des Stoffes mit zu den beizubringenden Daten. Als härteste Maßnahme ist das Verbot eines Stoffes möglich. Bei geringeren Jahresproduktionsmengen muß lediglich eine Mitteilungspflicht mit stark eingeschränktem Datenumfang befolgt werden. Zubereitungen, Erzeugnisse sowie neue Stoffe, die "In-house" weiterverarbeitet werden, sind ebenfalls nur von der Mitteilungspflicht betroffen.

Diejenigen neuen Werkstoffe, die charakteristisch sind für spezielle Anwendungen und daher tendenziell nur in geringen Mengen hergestellt werden, "In-house" weiterverarbeitete neue Werkstoffe sowie Zubereitungen und neue Werkstoffe als Bestandteile von Produkten werden also vom Chemikaliengesetz nur ungenügend erfaßt. Mit dem vorliegenden Gesetzentwurf der Bundesregierung zur Änderung des Chemikaliengesetzes vom 23.03.1994 wird diese Situation nur geringfügig verändert. Für neue Stoffe, die als Massenwerkstoffe fungieren, kann das Chemikaliengesetz seine orientierende Wirkung auf Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit entfalten, da die notwendigen Prüfungen und Untersuchungen forschungsbegleitend durchgeführt werden können.

IV. Wirkung rechtlicher Vorgaben auf Forschung, Entwicklung und Verwendung neuer Werkstoffe

1. Berücksichtigung neuer Werkstoffe im geltenden Recht

In Deutschland existiert ein vielfältiges Instrumentarium ordnungsrechtlicher und kooperativer Regelungen, die dazu vorgesehen sind, den Schutz des Menschen und der Umwelt vor Gefahrstoffen und anderen schädlichen Einflüssen bei der Entwicklung, Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung neuer Werkstoffe zu gewährleisten.

Das **Chemikaliengesetz** zielt darauf ab, vor dem Inverkehrbringen neuer Stoffe deren Umweltverträglichkeit und Aspekte des Gesundheitsschutzes zu klären. Neue Stoffe unterliegen ab einer Menge von 100 kg Jahresproduktion einer Anmeldepflicht. Im Rahmen dieses Verfahrens muß der Hersteller nach gesetzlich vorgeschriebenen Kriterien die Datenbasis zur Beurteilung des stoffspezifischen Gefährdungspotentials ermitteln und den zuständigen Behörden bereitstellen. Darüber hinaus soll durch eine entsprechende Kennzeichnung und ein ausführliches Sicherheitsdatenblatt den (gewerblichen) Anwendern ein sachgerechter Umgang mit dem Stoff ermöglicht werden. Angaben zur Wiederverwertung gehören als Information zur sachgerechten Verwendung des Stoffes mit zu den beizubringenden Daten. Als härteste Maßnahme ist das Verbot eines Stoffes möglich. Bei geringeren Jahresproduktionsmengen muß lediglich eine Mitteilungspflicht mit stark eingeschränktem Datenumfang befolgt werden. Zubereitungen, Erzeugnisse sowie neue Stoffe, die "In-house" weiterverarbeitet werden, sind ebenfalls nur von der Mitteilungspflicht betroffen.

Diejenigen neuen Werkstoffe, die charakteristisch sind für spezielle Anwendungen und daher tendenziell nur in geringen Mengen hergestellt werden, "In-house" weiterverarbeitete neue Werkstoffe sowie Zubereitungen und neue Werkstoffe als Bestandteile von Produkten werden also vom Chemikaliengesetz nur ungenügend erfaßt. Mit dem vorliegenden Gesetzentwurf der Bundesregierung zur Änderung des Chemikaliengesetzes vom 23.03.1994 wird diese Situation nur geringfügig verändert. Für neue Stoffe, die als Massenwerkstoffe fungieren, kann das Chemikaliengesetz seine orientierende Wirkung auf Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit entfalten, da die notwendigen Prüfungen und Untersuchungen forschungsbegleitend durchgeführt werden können.

Das **Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz** geht in seiner Zielsetzung von der umweltpolitischen Aufgabe aus, Abfall zu vermeiden, Abfallmengen zu reduzieren und den verbleibenden Rest möglichst unschädlich zu entsorgen. Vorrangig soll das Entstehen von Abfällen durch die Vermeidung von Rückständen oder die stoffliche oder energetische Verwendung von Sekundärrohstoffen verhindert werden. Damit dieses Ziel effizient erreicht werden kann, sieht das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz Maßnahmen zur Förderung der Kreislaufwirtschaft vor. Zu diesen Maßnahmen gehören Anforderungen an eine abfallarme Produktgestaltung, die möglichst hochwertige Verwertung von Sekundärrohstoffen und die Produktverantwortung, d.h. die mehrfache Verwendbarkeit und technische Langlebigkeit von Erzeugnissen sowie deren Eignung zur umweltverträglichen Verwertung und Entsorgung. Dies sind Ziele, in die Werkstoffe nach Maß „hineinentwickelt“ werden können. Aufgrund des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes könnte die Nachfrage nach neuen Werkstoffen mit maßgeschneiderten Recyclingeigenschaften gefördert und während ihrer Produktion Maßnahmen des produktintegrierten Umweltschutzes schneller durchgesetzt werden.

Die **Technische Normung** findet auf freiwilliger Ebene im nationalen, europäischen und internationalen Rahmen statt. Durch den Vorgang der Normung kann ein breiterer gesellschaftlicher Konsens bezüglich technischer und zunehmend auch ökologischer Belange erreicht werden. Gesetze im Umwelt- und Technikrecht beziehen sich daher häufig auf technische Normen. Die EG-Gesetzgebung ist weitgehend auf Normen zur Konkretisierung des rechtlichen Rahmens aufgebaut. Europäische Normen sind sowohl mit nationalen als auch mit internationalen Normen eng verzahnt. So müssen EG-Normen in nationale Normen übernommen werden. Zwischen den europäischen Normungsorganisationen und der internationalen ISO besteht ebenfalls eine vertraglich geregelte enge Zusammenarbeit. Dies ist von besonderer Bedeutung, da die Normen einen Einfluß auf die Integration des europäischen Marktes in den Weltmarkt haben.

Im herkömmlichen Verständnis werden durch Normung die Eigenschaften ausgereifter Produkte und Verfahren standardisiert. Neuentwicklungen werden so in das technische Regelwerk integriert und damit allen Marktteilnehmern zugänglich gemacht. Ergänzend zur "nachträglichen" Normung besteht für Technologien mit hohem Innovationsgrad zunehmend ein Bedarf an entwicklungsbegleitender (Vor-)Normung. Im Bereich neuer Werkstoffe ist sie für Spezialwerkstoffe (maßgeschneiderte Werkstoffe für spezielle Anwendungen) und Problemwerkstoffe (gefährliche Stoffe) sinnvoll. Sie dient zugleich als Kooperationsinstrument zwischen Werkstoffherstellern und -anwendern.

Die **Qualitätssicherung nach DIN/ISO 9000 ff.** ist generell ein Instrument, den Informationsfluß innerhalb eines Unternehmens und zu anderen Unternehmen

umfassend zu sichern. Für gezielte Werkstoffentwicklungen als Teilkomponenten von Produkten läßt sich die ISO/DIN 9001 anwenden. Sie fördert die Berücksichtigung von Sicherheits- und Umweltaspekten bereits im Entwicklungsprozeß. Besonders interessant sind die Verfahren zum Informationsaustausch während des Entwicklungsprozesses, da durch die Beteiligung anderer Abteilungen u.a. eine Überarbeitung des Produktdesigns ermöglicht wird.

Verfahren der Qualitätssicherung haben eine große Bedeutung im Rahmen von EU-Produktrichtlinien zum Nachweis von Konformität. Das Konformitätsbewertungsverfahren soll vor allem die Behörden befähigen zu entscheiden, ob die Produkte ein Mindestmaß an Sicherheit und Gesundheitsschutz garantieren. Für den Nachweis der Konformität ist ein komplexes System verschiedener Möglichkeiten vorgesehen, darunter der Nachweis eines umfassenden Qualitätssicherungssystems. Hersteller von neuen Werkstoffen werden von EU-Produktrichtlinien nur dann erfaßt, wenn die neuen Werkstoffe "In-house" bis zu einem Endprodukt weiterverarbeitet werden. Vorprodukte und damit die Mehrzahl der klassischen Werkstofflieferanten wie die Stahl- und die chemische Industrie werden von EU-Produktrichtlinien nicht erfaßt.

Ein speziell auf Umweltbelange gerichtetes Qualitätssicherungssystem ist das **Öko-Audit**, das, basierend auf einer EU-Richtlinie, von Unternehmen freiwillig durchgeführt werden soll. Mit Hilfe des Öko-Audits können auf betrieblicher Ebene die Entwicklung, Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung neuer Werkstoffe unter ökologischen Gesichtspunkten optimiert werden.

Der Bereich des **Arbeitsschutzes** bei der Entwicklung, Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung neuer Werkstoffe ist im Rahmen der **Gefahrstoffverordnung** dicht geregelt. Wesentliche Regelungen der Gefahrstoffverordnung beziehen sich auf die Pflicht des Arbeitgebers, vor dem betrieblichen Einsatz, z.B. der Verarbeitung eines Stoffes oder einer Zubereitung, zu prüfen, ob dabei gefährliche Stoffe anfallen. Dazu kann er auf die Kennzeichnung des Behälters und ein umfassendes Sicherheitsdatenblatt zurückgreifen, das der Lieferant beifügen muß. Werden die neuen Werkstoffe im Betrieb selber entwickelt, so muß begleitend zur Forschung und Entwicklung das Gefährdungspotential des neuen Werkstoffes so weitgehend ermittelt werden, daß das Sicherheitsdatenblatt komplett ausgefüllt werden kann. Der Arbeitgeber ist weiterhin verpflichtet, möglichst ungefährliche Stoffe einzusetzen und die mit diesen Stoffen Arbeitenden wirkungsvoll vor Exposition zu schützen. Diese umfassenden Ermittlungs- und Informationspflichten nach der Gefahrstoffverordnung sind von besonderer Bedeutung für den Umgang mit neuen Werkstoffen und den von ihnen ausgehenden unbekanntem Gefahren.

Die grenzwertbezogenen Regelungskonzepte im Rahmen der Gefahrstoffverordnung greifen nur dann, wenn Grenzwerte existieren. Wegen unzureichender arbeitsmedizinischer Kenntnisse sind jedoch z.B. die spezifischen Grenzwerte für Stäube und weitere toxische Belastungen, die bei der Materialverarbeitung entstehen können, häufig nicht bekannt oder noch strittig.

Zum Schutz privater Anwender greift das **Haftungsrecht**. Die Produzenten sind verpflichtet, durch organisatorische Maßnahmen der Qualitätssicherung sicherzustellen, daß keine schadenstiftenden Produkte - hierzu zählen Werkstoffe und damit hergestellte Vor-, Zwischen- und Endprodukte - in Verkehr gebracht werden. Durch die Produkthaftung werden Schadensfälle an Personen und Sachen rechtlich geregelt. Mit detaillierten Angaben zum sachgemäßen Umgang mit dem Produkt (Instruktionspflicht) sollen v.a. Konsumenten informiert und damit vor Schaden geschützt werden. Der Produzent hat zudem eine Produktbeobachtungspflicht bei neuen Produkten, die ihn dazu verpflichtet, bei schadhafte Produkten angemessen zu reagieren. Die vorgesehenen Maßnahmen reichen von der Information der Verbraucher bis hin zum Rückruf bereits ausgelieferter Produkte oder dem Verzicht auf eine weitere Vermarktung.

2. Aspekte der beruflichen Qualifikation

Nach dem Vertrag über die Europäische Union (Kapitel 3, Artikel 127) ist der Bereich der beruflichen Bildung ausdrücklich von jeglicher Harmonisierung ausgeschlossen. Die Bundesregierung sieht es als eine vorrangige Aufgabe der deutschen Berufsbildungspolitik an, das duale Berufsbildungssystem zu erhalten und den nationalen und internationalen Anforderungen entsprechend weiterzuentwickeln. Sie geht davon aus, daß zukünftig mehr beruflich ausgebildete Fachkräfte gebraucht werden, um den Standortvorteil Qualifikation zu sichern (Berufsbildungsbericht, S. 13 und S. 20, 1994). Die Gruppe der Beauftragten der Arbeitnehmer unterbreitet in ihrem Minderheitsvotum zum Berufsbildungsbericht 1994 inhaltliche Vorschläge, wie dieser Standortvorteil gesichert werden kann. In ökologischer Verfahrens- und Produktreform sehen die Arbeitnehmervertreter unerläßliche Strategien zur Bildung neuer Marktprofile und zur langfristigen Krisenbewältigung. Umweltkompetenz sowie Gesundheits- und Arbeitsschutz sind in die Ausbildungsberufe und Fortbildungen zu integrieren (Berufsbildungsbericht, S. 28, 1994).

Hohe berufliche Qualifikation ist bei der Verarbeitung neuer Werkstoffe eine wesentliche Voraussetzung. Zugleich trägt sie zur Realisierung von Werkstoffinnovationen bei und ist damit ein wesentlicher Standortfaktor. Für ein Hochlohnland

wie Deutschland ist die Erhaltung der Standortqualität untrennbar mit einer hohen Wertschöpfung, die vor allen Dingen mit Hochtechnologien realisiert werden kann, verbunden. Eine wesentliche Qualität des Standortes Deutschland sind seine hochqualifizierten Arbeitnehmer. Für die Beschäftigten selber bedeutet eine hohe berufliche Qualifikation zudem eine Basis, (neue) Anforderungen am Arbeitsplatz nicht nur zu erfüllen, sondern verantwortungsvoll mitgestalten zu können. Hohe Qualität der Produkte, Schutz der Umwelt und der eigenen Person (Arbeitsschutz) sind integrierte Aspekte der beruflichen Qualifikation.

Werkstoffkenntnisse werden in allen Branchen benötigt, die neue Werkstoffe herstellen und verarbeiten. Für die kunststoffverarbeitende Industrie wurde das Berufsbild des Kunststoffformgebers überarbeitet und liegt zum Erlaß den zuständigen Ministerien vor. Der Beruf des Werkstoffprüfers soll neu geordnet werden. Es ist in der Diskussion, Anforderungen durch neue Werkstoffe in dieses Berufsbild mit hineinzunehmen.

Durch neue Werkstoffe wird ein bedeutender Teil der betrieblichen Arbeiten in den produktionsvorbereitenden Bereich verlagert. Konstruktion, Design und die Optimierung der an den Verarbeitungseigenschaften der neuen Werkstoffe orientierten Produktionsverfahren sind die entscheidenden Schritte im Wertschöpfungsprozeß. Die eigentliche Werkstoffverarbeitung erfolgt dann entweder hochautomatisiert in großen Stückzahlen oder in einzelnen Branchen, wie der Luft- und Raumfahrtindustrie, fast noch als handwerkliche Arbeit. Um die damit verbundenen Tätigkeiten durchführen zu können, bedarf es einer hohen Qualifikation der Arbeitnehmer. Defizite in der beruflichen Bildung auf dem Gebiet der Werkstoffverarbeitung können in Deutschland nicht festgestellt werden. Die deutsche Industrie deckt den zunehmenden Bedarf an Qualifikation im Werkstoffbereich durch ein vermehrtes und zielgerichtetes Weiterbildungsangebot ab. Dadurch kann verhindert werden, daß die produktionstechnische Umsetzung von Werkstoffinnovationen durch ungenügende Qualifikation der Arbeitnehmer verzögert wird.

3. Fazit

Werkstoffe werden in bezug auf ihre Herstellung, Anwendung und Entsorgung durch das geltende Recht umfassend erfaßt. Die Erforschung und Entwicklung neuer Werkstoffe wird durch die rechtlichen Rahmenbedingungen ebenfalls beeinflußt. Insbesondere das Umweltrecht wirkt auf die anwendungsorientierte Forschung, da neue Werkstoffe den Anforderungen des Stoff- und Kreislauf-

wirtschafts(Abfall)rechtes entsprechen müssen, um in Deutschland hergestellt, verarbeitet, verwendet und entsorgt werden zu können.

Maßnahmen auf Unternehmensebene, wie das Öko-Audit, Qualitätssicherung nach DIN/ISO 9000 ff sowie technische Normungsverfahren, führen dazu, daß neue Werkstoffe hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die umwelt- und arbeitsschutzgerechte Gestaltung von Produktionsverfahren, die Sicherung der Produktqualität und die international akzeptierte Zertifizierbarkeit umfassend untersucht und beschrieben werden müssen.

Die Gesamtheit der rechtlichen Vorgaben und der freiwilligen Maßnahmen der Unternehmen stellt Werkstoffforscher und -entwickler sowie Hersteller vor neue, anspruchsvolle Aufgaben. Während Großunternehmen den dazu notwendigen Prozeß selbst gestalten können, fehlt es kleinen und mittleren Unternehmen dafür oft an den entsprechenden personellen, finanziellen und organisatorisch-strukturellen Voraussetzungen. Da ohne die Gewährleistung der Rechtskonformität Produkte nicht vermarktbar sind, wird es für kleine und mittlere Unternehmen zunehmend schwerer sich in besonders schnell sich entwickelnden, auf neuen Werkstoffen basierenden Technologiefeldern zu engagieren.

Im Rahmen der Forschungsförderung über Verbundprojekte könnte diesen Unternehmen die Möglichkeit gegeben werden, rechtliche Probleme bei der Entwicklung aber auch Überführung neuer Werkstoffe durch entsprechende Projektpartner untersuchen zu lassen. Dadurch könnten Innovations- und Diffusionsprozesse in einem rechtssicheren Umfeld beschleunigt werden.

V. Fallbeispiele zur Umsetzung von Ergebnissen der Forschung und Entwicklung im Bereich neuer Werkstoffe

Die wirtschaftliche Relevanz der Ergebnisse von Forschung und Entwicklung im Werkstoffbereich wird in der Regel erst nach einem komplizierten Prozeß der Annäherung von Entwicklern, Herstellern und Endanwendern sichtbar. Soll eine Werkstoffsubstitution vorgenommen werden, erwarten die Endanwender von einem neuen Werkstoff, daß er ohne größere Änderungen produktionstechnischer Abläufe eingesetzt werden kann, daß er normier- und zertifizierbar ist und daß er auch preislich eine kostengünstige Alternative zum vorher verwendeten Werkstoff darstellt. Diese Überlegungen spielen beim Einsatz neuer Werkstoffe für Systeminnovationen eher eine untergeordnete Rolle, hier wird der Wettbewerb um die Erschließung neuer Märkte mit neuen Produkten geführt. Der Preiswettbewerb entwickelt sich erst nach erfolgreicher Etablierung des Produktes auf dem Markt.

Im folgenden wird anhand zweier Fallbeispiele dargestellt, wie solche Umsetzungsprozesse in der Industrie ablaufen können. Es wird beispielhaft gezeigt, daß Werkstoffsubstitutionen für den Werkstoffanbieter mit zum Teil erheblichen wirtschaftlichen Risiken verbunden sind, Systeminnovationen dagegen auch für mittlere Unternehmen große Chancen bei der Erschließung neuer Märkte bieten. Der Ausstieg der BASF aus dem Geschäftsbereich der Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe steht beispielhaft für die Risiken im Substitutionswettbewerb. Die Chancen neuer Werkstoffe auf neuen Märkten werden anhand der durch die Firma Rupp+Hubrach durchgeführten Systeminnovation im Bereich der optischen Gläser dargestellt.

1. Ausstieg aus einer Werkstoffentwicklung

Die beiden "Ölkrisen" zu Beginn der siebziger Jahre waren ein Anlaß für die BASF gewesen, Faserverbundwerkstoffe für den Leichtbau im Transportwesen zu Lande und in der Luft zu entwickeln. Dies fiel in eine Zeit veränderter Innovationsstrategien der chemischen Industrie. Da es Signale für die Marktsättigung bei Massenkunststoffen gab, sollten Spezialkunststoffe und Hochleistungsfasern zur Erschließung neuer Märkte entwickelt werden. Die Schätzungen der BASF über die Marktentwicklung des Volumens bei Hochleistungsfaserverbundwerkstoffen ließen 1987 je nach Anwendungsbereich und Region jährliche Wachstumsraten

zwischen 15 und 20 % erwarten. Der Schwerpunkt der Aktivitäten der BASF lag bei den als Massenwerkstoff verwendeten Harzen. Um als Komplettanbieter des neuen Werkstoffs auftreten zu können, wurde das notwendige Know-How zur Herstellung und Weiterverarbeitung von Kohlenstoffasern zu Halbzeugen ab 1984 durch Erwerb von Lizenzen und Aufkauf von Firmen in den USA erworben. Da die Fasern die kostenintensiveren Elemente sind und der Wettbewerb bei den Fasern besonders hart war, hatte die BASF gegenüber Konkurrenten mit dem Schwerpunkt Fasern eine schlechtere Marktposition. Diese zunächst fehlende „Rückwärtsintegration“ im Unternehmen erschwerte und verteuerte im weiteren die Überführung der FuE- Ergebnisse.

Ab Mitte der achtziger Jahre war ein Unternehmensziel der BASF, weltweit eine führende Rolle im Markt für Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe zu übernehmen. Dazu wurde eine neues Technologie- und Produktionszentrum in Ludwigshafen aufgebaut und ein Joint Venture mit der japanischen Firma Toho Rayon gegründet. Für den Aufbau des Technologie- und Produktionszentrums in Ludwigshafen investierte das Unternehmen von 1986 bis 1988 ca. 50 Mio. DM. Mit Stand von 1987 hatte die BASF die größte Integrationstiefe im Vergleich zu ihren Hauptwettbewerbern aufzuweisen, angefangen von den Basiskomponenten Faser und Matrix über die Herstellung des Verbundwerkstoffes bis hin zur Herstellung von Halb- und Fertigteilen. Diese Aktivitäten wurde alle "im eigenen Hause" durchgeführt. Mit Ausnahme der von 1986 bis 1989 vom BMFT erhaltenen Fördermittel für Forschungs- und Entwicklungsprojekte lag das Investitionsrisiko ausschließlich bei der BASF. Bis zur Geschäftsaufgabe Ende 1992 wurde an der Strategie festgehalten, in Vorleistung auf noch zu schaffende Märkte Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit hoher Intensität durchzuführen.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten der BASF im Bereich Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe lag im Bereich von Duroplasten für die Luft- und Raumfahrt. Dies entsprach den Realitäten des Marktes. 1979 entfielen 70 % des Anteils an Hochleistungsfaserverbundwerkstoffen auf die Luft- und Raumfahrt. Hier ist die Kostenersparnis durch Gewichtsreduzierung besonders hoch. Ein wesentlicher Markt bestand im Bereich der wehrtechnischen Güter. Insbesondere in den USA existierte zu dieser Zeit eine hohe Nachfrage nach Werkstoffen für Militärflugzeuge. Da aufgrund der Vertragsbedingungen des Department of Defense sämtliche Vorprodukte von Produkten für das US-amerikanische Militär in den USA hergestellt sein müssen und die BASF auch weiterhin Hersteller von Militärflugzeugen in den USA beliefern wollte, entschied sie sich 1990, ihre Produktionsanlagen für Kohlenstoffasern in den USA erheblich zu vergrößern. Diese Investition wurde im Vorgriff auf erwartete Marktanteile getätigt. Der Wettbewerb im Bereich der Luft- und Raumfahrt verschärfte sich mit Ende des "Kalten Krieges" zunehmend, da Militärausgaben drastisch reduziert wurden. Die Anbieter von

Hochleistungsfaserverbundwerkstoffen konzentrierten sich auf den zivilen Markt, was einen entsprechenden Preisverfall zur Folge hatte. Die erwarteten Gewinne aus der Luft- und Raumfahrt konnten nicht realisiert werden, die BASF bezeichnete sie in ihrem Geschäftsbericht 1991 als "enttäuschend". Mit diesen Gewinnen hätten jedoch die noch notwendigen Entwicklungsarbeiten für die Anwendung von Duroplasten und v.a. Thermoplasten für den Automobilbau und Maschinenbau finanziert werden sollen. Die BASF sah im Leichtbau in der Automobilindustrie einen großen sicheren Markt der Zukunft. Aufbauend auf den Erfahrungen für die Luft- und Raumfahrtindustrie sollten Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe, Halbzeuge, Bauteile, Verarbeitungs- und Recycling-Technologien für den Automobilbau und Maschinenbau entwickelt werden. Es wurde durchaus mit langen Vorlaufzeiten gerechnet.

Diese neuen Anwendungsbereiche sind hinsichtlich der geforderten Produkteigenschaften und der entsprechenden Verarbeitungstechnologien sehr unterschiedlich. Die Entwicklung für den Automobilbau mußte praktisch neu durchgeführt werden. In der Luft- und Raumfahrt können wegen kleiner Stückzahlen aufwendige "handwerkliche" Verarbeitungsverfahren mit langen Taktzeiten eingesetzt werden. Im Automobilbau wird dagegen in Serie bei möglichst kurzen Taktzeiten gefertigt. Für diesen Einsatzzweck mußten Thermoplaste weiterentwickelt werden, da nur sie den technologischen Randbedingungen des Automobilbaus genügen. Relativ geringen Kosteneinsparungen durch Gewichtseinsparung stehen hohe Kosten für die Umrüstung der kapitalintensiven Fertigungsstraßen gegenüber. Im Automobilbau konkurrieren zudem Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe mit Aluminium und höherfesten Stählen. Hier sind Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe selten die preisgünstigere Lösung. Vor allem haben metallische Werkstoffe erhebliche Recyclingvorteile.

Bei der Entwicklung von Halbfertteilen und Bauteilen für die Automobilindustrie wurde von der BASF die Zusammenarbeit mit der Automobilindustrie gesucht. Diese fand jedoch nur in eingeschränktem Rahmen statt. In einer ersten pilotartigen Anwendung sollte eine Blattfeder für einen LKW entwickelt werden. Der KFZ-Hersteller gab vor, daß lediglich eine Materialsubstitution und keine Systemsubstitution gemacht werden durfte. Die Blattfeder aus Hochleistungsfaserverbundwerkstoff war der metallischen technisch überlegen, jedoch im Preis etwas teurer als die metallische Blattfeder. Der KFZ-Hersteller hat die neue Blattfeder daher nicht übernommen. Die Kosten für die umfangreichen Entwicklungsarbeiten lagen im wesentlichen bei der BASF. Da sich die Markterwartungen sowohl im Flugzeug- als auch im Automobilbau als überhöht erwiesen hatten, zog sich das Unternehmen aus dem als hochinnovativ angesehenen Geschäftsbereich der Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe zurück. Entsprechend der damaligen Unternehmenspolitik, sich auf die starken Produktionslinien zu beschränken

wurde von der BASF dieser Geschäftsbereich Ende 1992 aufgegeben (HIESSL/KUNTZE 1994, S. 29).

Dieses Beispiel zeigt, daß sich innovative Werkstoffe nur dann am Markt durchsetzen können, wenn sie gegenüber klassischen Werkstoffen in mehreren Phasen des Produktlebenszyklus erhebliche Vorteile aufweisen. Um diese Vorteile zum Tragen zu bringen bedarf es einer weitgehenden Kooperation zwischen Werkstoffhersteller und -anwender. Im untersuchten Fall gab es zwischen Werkstoffhersteller - der BASF - und Werkstoffanwender - verschiedene Firmen des Automobilbaus - keinen Konsens über den Einsatz von Hochleistungsfaserverbundwerkstoffen. Die Vorgaben des KFZ-Herstellers waren kaum geeignet, gemeinsam mit den Kenntnissen beider Branchen Lösungen zu entwickeln. Hinweise auf eine echte Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette, bei der die BASF die komplexen Anforderungen der Werkstoffanwender im Automobilbau und das daraus resultierende Marktpotential hätte realistisch erfahren können, gibt nicht. Aus heutiger Sicht wird es von der BASF weiterhin als problematisch angesehen, daß sie ihre Fertigungstiefe bis zu Bauteilen hin ausgedehnt hat. Denn für jedes neue Produkt mußte das Know-How neu beschafft und der entsprechende Zugang zu bereits fest etablierten Massenmärkten mit ausgeprägtem Preiswettbewerb gefunden werden.

2. Überführung einer Werkstoffinnovation

Anfang der achtziger Jahre stand der mittelständische Brillenhersteller Rupp+Hubrach (Marktanteil in Deutschland ca. 10 %) vor der Frage, wie das Unternehmen seine Wettbewerbsfähigkeit erhalten könne. Zur damaligen Zeit kamen zunehmend Brillen mit hochwertigen Kunststoffgläsern auf den Markt. Da die Kunststoffoberfläche kratzanfällig ist, sollte eine Oberflächenhärtung durchgeführt werden. Es standen ausschließlich Härtungssysteme zur Verfügung, die von japanischen Firmen entwickelt worden waren. Die großen Brillenhersteller in Deutschland hatten zu Beginn der achtziger Jahre dieses Verfahren bereits in Lizenz übernommen (SCHMIDT 1994, S. 26). Die Suche von Rupp+Hubrach auf dem deutschen Markt führte zu einer Reihe von Angeboten, bei dem Beschichtungswerkstoff und -verfahren hätten komplett übernommen werden müssen, ohne die spezifischen Anforderungen des Unternehmens zu erfüllen. Wegen des zu erwartenden geringen Absatzes von weniger als 20 kg Beschichtungsmaterial pro Jahr hätten sich die Aufwendungen für die erforderlichen Entwicklungsarbeiten nicht gelohnt. Auf der Suche nach externen Partnern für eine eigenständige Werkstoffinnovation wandte sich Rupp+Hubrach (Firmensitz in Bamberg) daraufhin an das Ostbayerische Technologie Transfer Institut. Dieses vermittelte den

Kontakt zum Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (FhG-ISC) in Würzburg, wo bereits an Beschichtungswerkstoffen für Kontaktlinsen gearbeitet wurde.

Am FhG-ISC waren bereits 1982 neue Beschichtungswerkstoffe die sogenannten ORMOCERe (*organically modified ceramics*) entwickelt worden. Dies sind Werkstoffe aus Keramiken und organischen Kunststoffen. Ihr besonderer Vorteil liegt darin, daß in weiten Bereichen ihre mechanischen, optischen, thermischen, elektrischen und weiteren physikalischen Eigenschaften auf spezielle Anforderungsprofile eingestellt werden können. Über die Wahl vielfältiger Kombinationsmöglichkeiten der organischen und der anorganischen Komponenten sowie aufgrund der umfangreichen Steuerungsmöglichkeiten über den Herstellprozeß wird eine große Variationsbreite der Werkstoffeigenschaften erreicht. Auf diese Weise können Beschichtungssysteme für das Anforderungsprofil der jeweiligen Anwendung optimiert werden.

Zwischen Rupp+Hubrach, dem FhG-ISC und weiteren Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft entstand Anfang 1983 ein Verbundprojekt, in dem Beschichtungswerkstoff und Auftragsverfahren parallel entwickelt werden sollten. Die Laufzeit des Projektes war zunächst auf ein Jahr angesetzt mit einem Gesamtaufwand von ca. 200.000 DM. Bereits nach einem Jahr konnten die Entwicklungsarbeiten an dem Hartbeschichtungsmaterial am FhG-ISC abgeschlossen werden. Das parallel entwickelte Verfahren zur Oberflächenbeschichtung führte jedoch noch nicht zu den gewünschten Prozeßeigenschaften. Um eine vollautomatische Beschichtung mit einer Taktzeit von 30 Sekunden zu erreichen, mußten sowohl Veränderungen am Prozeß als auch an der Zusammensetzung des Beschichtungsmaterials vorgenommen werden. Dazu wurde das aus der Mikroelektronik bekannte Spin-Coating Prinzip adaptiert. 1984 stand dieses Verfahren für die Beschichtung von Brillengläsern prototypisch zur Verfügung. 1985 wurde es von Rupp+Hubrach übernommen und nachfolgend in enger Zusammenarbeit mit dem FhG-ISC weiterentwickelt.

Anstelle der geplanten Projektlaufzeit von einem Jahr, konnten die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erst 1987 nach einer Laufzeit von vier Jahren abgeschlossen werden. Anstelle des ursprünglich geplanten Aufwandes von 200.000 DM mußten insgesamt 3 Mio. DM aufgebracht werden. Davon konnten 1 Mio. DM durch Fördermittel abgedeckt werden, 2 Mio. DM brachte die Firma Rupp+Hubrach selber auf.

Bereits während der noch laufenden Entwicklungsarbeiten kam Rupp+Hubrach 1985 mit seinen ORMOCER-beschichteten Kunststoffbrillengläsern auf den Markt, etwa zur selben Zeit wie eine französische Konkurrenzfirma. Rupp+Hubrach war also zur rechten Zeit auf dem Markt und konnte die weiteren

Entwicklungsarbeiten (zumindest teilweise) aus dem mit ORMOCER[®]-beschichteten Brillengläsern erzielten Gewinn finanzieren. Die Firma Rupp+Hubrach konnte durch ihre Aktivitäten im Bereich Forschung und Entwicklung ihren Anteil am wachsenden Markt beschichteter Kunststoffbrillengläser halten. Durch die Zusammenarbeit mit den Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft und Einstellung von wissenschaftlich-technischem Personal gelang es Rupp+Hubrach, sich weitgehend unabhängig von Zulieferern zu machen. Auf der Basis von ca. 12,5 kg ORMOCER-Werkstoff wird im Jahr ein Umsatz von ca. 25 Mio. DM getätigt (SCHMIDT 1994, S. 29). Darüber hinaus ist es dem Unternehmen gelungen, seine gesamte Produktpalette zu überarbeiten, Fertigungsverfahren zu optimieren und konsequent neue Produkte zu entwickeln. Seit kurzem bietet Rupp+Hubrach weltweit als erste Firma eine Kunststofflaserschutzbrille mit einer sehr hohen Brechungsanzahl an.

Die Zusammenarbeit im Verbundprojekt hat nicht nur für das beteiligte Unternehmen einen Innovationsschub ausgelöst. Auch das beteiligte Forschungsinstitut hat davon profitiert. Aufbauend auf der in den siebziger Jahren durchgeführten Grundlagenforschung führten die Anforderungen, die aus der frühen industriellen Anwendung entstanden, zu wesentlichen Erkenntnissen. Das breite mögliche Anwendungsspektrum der Beschichtungen mit ORMOCERen wurde erkannt, und es wurde ein tieferes Verständnis für die wesentlichen Schlüsselparameter gewonnen, mit denen die Werkstoffeigenschaften eingestellt werden. Die ORMOCER-Werkstoffe wurden vom FhG-ISC weltweit zum Patent angemeldet. Initiiert durch die Entwicklung für Brillenbeschichtungen hat das FhG-ISC mittlerweile eine Reihe von weiteren Anwendungsbereichen für ORMOCERe erschlossen. Zu diesen Anwendungen gehören die Kunststoffveredelung sowie der Korrosionsschutz für Metalloberflächen und in der Elektronik. Konkrete Beispiele sind abriebfeste Schutzbeschichtungen für CD's, Kunststofflinsen und Beschichtungsmaterialien für Elektronikbausteine.

3. Fazit

Die Entwicklung neuer Werkstoffe und deren Überführung in marktfähige Produkte erfolgt in einem Prozeß, dessen Erfolg wesentlich von der Zusammenarbeit zwischen Werkstoffentwickler/hersteller und dem Endanwender geprägt ist. Der Ausstieg der BASF aus dem Geschäftsbereich der Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe verdeutlicht, daß insbesondere im Substitutionswettbewerb große wirtschaftliche Risiken beim Materialhersteller liegen, da Endanwender oftmals beträchtliche investive Vorleistungen fordern, jedoch letztlich entscheidend an den preislichen Vorteilen neuer Werkstoffe interessiert sind. Ohne wei-

tergehende unternehmerische Anreize aus dem Bereich der Endproduktentwicklung bedeutet deshalb die Einführung neuer Werkstoffe ein beträchtliches Risiko für Materialhersteller. Um dieses Risiko zu mindern, bedarf es einer intensiven Kooperation zwischen den verschiedenen Akteuren der Wertschöpfungskette. Neben der direkten Zusammenarbeit auf Unternehmensebene könnte die gemeinsame Teilnahme an Projekten der staatlichen Forschungsförderung dazu einen entscheidenden Beitrag leisten.

Das Beispiel der Kooperation zwischen einem mittelständischen Unternehmen und einem Forschungsinstitut verdeutlicht, daß Forschungsergebnisse im Werkstoffbereich erfolgreich umgesetzt werden können, wenn dadurch **Systeminnovationen** ermöglicht werden, die zu neuen Produkten auf neuen und etablierten Märkten führen. Die Einführung eines neuen Werkstoffs in ein Produkt sollte von einer Verbesserung bzw. Erneuerung der damit verbundenen Herstellungstechnologien begleitet werden, da dadurch zusätzliche Vorteile im Preiswettbewerb ermöglicht werden.

VI. Forschungsförderung im Bereich neuer Werkstoffe

1. Das Matech- Programm des BMFT "Neue Werkstoffe für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts"

In Anbetracht der Bedeutung neuer Werkstoffe für Schlüsseltechnologien hat das BMFT die Weiterführung des Materialforschungsprogramms vorbereitet. Das Programm "Neue Materialien für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts - Matech" ist fokussiert auf die Förderung mittel- bis langfristig angelegter Materialforschung und -entwicklung mit großem wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Risiko und hohem Innovationspotential. Dabei sollen vor allen Dingen Materialien entwickelt werden, die Schrittmacherfunktionen für die Technologieentwicklung leisten können.

Im Rahmen des Programms sollen Verbundprojekte zwischen Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen

- den Systemgedanken tragen,
- entlang der Wertschöpfungskette organisiert sein und
- ökologische Aspekte berücksichtigen.

Ungeachtet der vielfältigen Entwicklungen im Materialsektor werden im Rahmen von **Matech** nur spezifische Bereiche gefördert. Dazu zählen neue Materialien für die Informationstechnik, die Energietechnik, die Verkehrstechnik, die Medizintechnik und die Fertigungstechnik. Hinzu kommen werkstoff- und technologieübergreifende Querschnittsaufgaben und neue Felder. Dabei werden unter neuen Feldern z.B. solche Bereiche wie die biomimetischen Materialien für die Sensorik und multifunktionelle Werkstoffe mit anpassungsfähigen Eigenschaften verstanden. Diese Reihenfolge entspricht auch den Prioritäten bei der Umsetzung des Programms in die Finanzplanung.

Durch die Stärkung der Kooperation der FuE-Partner entlang der Wertschöpfungskette sollen Synergien freigesetzt und Industrieverbünde gezielt gefördert werden. Workshops, Statusseminare etc. sollen den Wissens- und Technologietransfer besonders in kleine und mittlere Unternehmen unterstützen.

Eine programmbegleitende Technikbewertung und -analyse wird vom Projektträger Material- und Rohstoffforschung (PLR) der KfA Jülich durchgeführt. Das Ziel dieser Arbeiten besteht darin, neue materialwissenschaftliche Entwicklungslinien

frühzeitig zu identifizieren und ökologische Aspekte bei der Programmrealisierung zu berücksichtigen. Im Auftrag des BMFT soll der Projektträger dazu beitragen, durch ein effizientes FuE-Controlling und Projektmanagement die Programmführung, -steuerung und -umsetzung zu gestalten. Dazu soll eine systematische Abstimmung mit den relevanten Förderaktivitäten des Bundes, den Aktivitäten der Großforschungseinrichtungen und der Blaue-Liste-Institute, der Bundesländer und der Kommission der Europäischen Union erfolgen. Parallel zu den projektspezifischen Aktivitäten ist der Aufbau von Demonstrationszentren zur "Bearbeitung von Hochleistungswerkstoffen" geplant. Diese eng an bestehende werkstoffverarbeitende Institute angegliederten Einrichtungen sollen u.a. dem schnellen Technologietransfer dienen.

In der mittelfristigen Finanzplanung sind, vorbehaltlich zukünftiger Haushaltsentscheidungen, folgende Mittel vorgesehen:

- Von 1994 - 1999 werden 830 Mio. DM für die unmittelbare Projektförderung benötigt, davon stehen 70 % den Industrie- und Entwicklungsverbänden und 30 % den Instituten im Forschungsverbund und Sondervorhaben mit hohem Innovationsgrad zur Verfügung.
- Neben der projektspezifischen Förderung werden pro Jahr ca. 145 Mio. DM für die institutionelle Förderung der Materialforschung zur Verfügung gestellt.
- Im werkstofforientierten Programm "Oberflächen- und Schichttechnologie" werden bis 1998 Fördermittel in Höhe von 110 Mio. DM bereitgestellt.

Ergänzende Fördermaßnahmen beinhalten

- ein FuE-Darlehensprogramm für kleine Unternehmen zur Finanzierung der Anwendung neuer Technologien und
- das Programm "Forschungskooperation" für aufwendige transnationale FuE-Kooperationen.

Die Weiterentwicklung des ablaufenden stofforientierten Materialforschungsprogramms (Matfo) hin zu einem technologieorientierten Programm dient dazu, Rückstände in ausgewählten Schlüsseltechnologien wettzumachen bzw. die führende Rolle Deutschlands in bestimmten Technologiebereichen zu erhalten. Verbundforschung, direkte Projektförderung und die Konzentration auf ausgewählte Schlüsseltechnologien sollen dazu beitragen, das Programm übersichtlich zu gestalten, eine effiziente Kontrolle über die verwendeten Mittel zu gewährleisten und die Überführung der Forschungsergebnisse in die Wirtschaft zu beschleunigen. Durch die Berücksichtigung werkstoff- und technologieübergreifender Querschnittsaufgaben und neuer Felder sollen hochinnovative Entwicklungen flexibel

in die Programmgestaltung eingebunden werden. Es ist weiterhin vorgesehen, nach fünf Jahren Laufzeit das Programm zu evaluieren und gegebenenfalls Förderschwerpunkte zu verändern.

2. Ergänzende Ansätze für die Forschungsförderung im Werkstoffbereich

Für die langfristige Sicherung der technologischen Kompetenz Deutschlands ist die staatliche Förderung der Werkstoffforschung unabdingbar. Dies ergibt sich aus

- dem hohen Potential neuer Werkstoffe für die Entwicklung ressourcen- und umweltschonender Produkte,
- dem Schlüsselcharakter neuer Werkstoffe für volkswirtschaftlich bedeutsame Technologieentwicklungen und
- den hohen wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Risiken einer langfristig angelegten, multidisziplinären Werkstoffforschung (BMFT, S. 22 1994).

Das Matech-Programm des BMFT hat zum Ziel, der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Bedeutung von Werkstoffforschung und -entwicklung gerecht zu werden. Die im Rahmen dieses Berichts durchgeführten Analysen zeigen, daß der zukünftige Erfolg eines Materialforschungsprogramms durch die Berücksichtigung „außerdisziplinärer“ Bereiche wesentlich verbessert werden kann. Eine stärkere Integration und Berücksichtigung ökologischer, rechtlicher und arbeitsmedizinischer Arbeitsbereiche in Verbundprojekten würde dazu beitragen, Innovationsprozesse zu beschleunigen und Probleme bei der Überführung von Forschungsergebnissen in die Produktion frühzeitig zu identifizieren und zu beseitigen. Dies würde die Attraktivität des Programms für den Mittelstand steigern. Um diese volkswirtschaftlich bedeutsame Gruppe von Unternehmen besser zu erreichen, bedarf es nicht nur ansprechender Förderprogramme, sondern auch auf den spezifischen Bedarf dieser Unternehmen zugeschnittener Förderinstrumente.

Integration außerdisziplinärer Bereiche

Insbesondere die Berücksichtigung **ökologischer Belange** bereits zu einem frühen Zeitpunkt der Forschungsarbeiten wird immer mehr zu einem wesentlichen Faktor für die erfolgreiche Umsetzung von Ergebnissen der Forschung und Entwicklung im Werkstoffbereich. Die Integration ökologischer Aspekte in die originäre Werkstoffforschung und -entwicklung erfordert eine verstärkte Kooperation zwischen Werkstoffforschern, Umweltforschern und Arbeitsgruppen, die sich mit

Ökobilanzen und Produktlinienanalysen beschäftigen. In der gegenwärtigen Ausrichtung der deutschen Werkstoffforschung spielen solche fachbereichsübergreifenden Kooperationen kaum eine Rolle. Im Rahmen des Matech-Programms geförderte Forschungsverbände sollten deshalb intensiver als dies bisher der Fall war dazu angeregt werden, ökologische Problemstellungen der Werkstoffforschung und -entwicklung zu bearbeiten. Durch den Projektträger könnten die dazu notwendigen Kontakte vorbereitet und bei Bedarf entsprechende Fördermittel zur Bearbeitung relevanter ökologischer Themen zur Verfügung gestellt werden. Eine somit stärker ökologisch orientierte Werkstoffforschung könnte wesentliche Beiträge für die Umsetzung des Konzepts einer nachhaltig zukunftsfähigen Entwicklung leisten.

Berücksichtigung kleiner und mittlerer Unternehmen

Obwohl die Evaluierung des Materialforschungsprogramms von 1984-94 ergab, daß die Gruppe der kleinen und mittleren Unternehmen nur ungenügend am Programm beteiligt war, wurden im Rahmen des neuen Matech-Programms keine über Workshops und Statuseminare hinausgehenden spezifischen Anreize geschaffen, diese Unternehmen stärker als bisher in die technologieorientierte Werkstoffforschung einzubinden. Die Gründe für die geringe Beteiligung mittelständischer Unternehmen an hochinnovativen FuE Vorhaben im Werkstoffbereich sind vielfältig: Mangelnde personelle, finanzielle und organisatorisch-strukturelle Voraussetzungen führen dazu, daß diesen Unternehmen der Aufwand für die Antragstellung, Projektgestaltung, Kooperation mit Verbundpartnern und Berichterstattung gegenüber dem Projektträger als zu groß erscheint, so daß sie von einer Beteiligung an diesem Programm Abstand nehmen. Dem gegenüber steht, daß diese Gruppe von Unternehmen durch ihre Flexibilität und Risikobereitschaft wesentlich dazu beiträgt, die Überführung von Innovationen, nicht nur im Werkstoffbereich, zu beschleunigen. Anreize für kleine und mittlere Unternehmen, sich an Forschungsvorhaben im Werkstoffbereich zu beteiligen, könnten über eine differenzierte Vergabe von Fördermitteln und eine Verbesserung und Beschleunigung des Technologietransfers geschaffen werden.

Förderinstrumente

Für das Matech-Programm wurde das Instrument der direkten Projektförderung beibehalten, da es sich in der Vergangenheit bewährt habe und nach Ansicht des BMFT auch am besten geeignet sei, die Zielvorgaben eines staatlich geförderten Programms der Werkstoffforschung erfolgreich umzusetzen. Die indirekte Förderung, z.B. über Steuervergünstigungen, Sonderabschreibungen und Investitionszulagen, sei als Förderinstrument ebensowenig geeignet wie die indirekt spezifische Förderung, z.B. durch Bezuschussung von Personal- und Investitionskosten,

da diese Formen eine sehr breite Streuung der Fördermittel bei gleichzeitig geringerer Selektivität der Mittelverwendung bewirken würden.

Das Problem der direkten Projektförderung besteht jedoch darin, daß durch die Verknüpfung von konkreten Zielvorgaben mit der Vergabe von Fördermitteln der Kreis der zu Fördernden stark eingeschränkt wird und durch die langfristige Forschungslenkung der Wettbewerb der Konzepte und Ideen behindert wird. Davon besonders betroffen ist die Gruppe der kleinen und mittleren Unternehmen. Diese müssen wesentlich kurzfristiger als Großunternehmen auf dem Markt agieren, so daß Projekte mit langfristig angelegten Lauf- und Diffusionszeiten für sie eher unattraktiv sind. Hinzu kommt, daß die Orientierung auf ausgewählte Schlüsseltechnologien nicht unmittelbar den Bedarf dieser Unternehmen repräsentieren muß.

Es ist insgesamt fraglich, ob die staatliche Förderung der Werkstoffforschung ausschließlich über die direkte Projektförderung den Anforderungen eines technologieorientierten Forschungsprogramms ausreichend Rechnung trägt. Die Werkstoffforschung und -entwicklung erfolgt in einem stark an den Bedürfnissen der potentiellen Anwender orientierten Rahmen. Technologieübergreifende Anwendbarkeit von Werkstoffinnovationen, vielfältige Wechselwirkungen entlang der Wertschöpfungskette und die Beteiligung verschiedenster Akteure an der Überführung von Forschungsergebnissen legen es nahe, die Forschungsförderung in diesem Bereich nicht ausschließlich über die direkte Projektförderung zu gestalten. Eine differenziertere Anwendung möglicher Förderinstrumente würde

- den freien Wettbewerb der Ideen und Konzepte stärken,
- ein stärkeres Engagement kleiner und mittlerer Unternehmen anregen und
- eine Entlastung des Staates hinsichtlich allzu detaillierter Vorgaben und der Erfolgskontrolle bedeuten.

Im TAB-Arbeitsbericht Nr. 26 wird in diesem Zusammenhang ein mögliches Förderinstrument beschrieben, das die Vergabe von **Forschungsdarlehen** anstelle der direkten Mittelzuwendung beinhaltet. Solche und andere Formen der Projektförderung könnten dazu genutzt werden, Fördermittel differenzierter zu vergeben, um so die Beteiligung insbesondere kleiner und mittlerer Unternehmen an technologieorientierten staatlichen Forschungsprogrammen zu verbessern.

Technologietransfer

In Deutschland existiert eine historisch gewachsene Forschungslandschaft, in der insbesondere die erkenntnisorientierte Forschung auf eine lange Tradition zurückblicken kann und vielfältig durch den Staat unterstützt wird. Die anwen-

dungsorientierte Forschung wird durch ihre Nähe zur Industrie und durch den Wettbewerb auf dem Markt für Forschungsdienstleistungen auch von konjunkturellen Entwicklungen betroffen. Während Großunternehmen auch in Zeiten geringen wirtschaftlichen Wachstums den Forschungsaufwand nicht reduzieren (können), reagieren kleine und mittlere Unternehmen auf konjunkturelle Schwächen oftmals mit einer Verringerung ihrer FuE-Aufwendungen. Der damit einhergehende Verlust an qualifiziertem Personal und somit auch an Innovationsfähigkeit führt zu einer nachhaltigen Schwächung der wirtschaftlichen Stärke dieser Unternehmen. Diese Gründe, aber auch eine generell notwendige Beschleunigung der Überführung von Forschungsergebnissen, führen dazu, daß der Technologietransfer entscheidend an Bedeutung gewinnt. Kleine und mittlere Unternehmen könnten durch einen verbesserten und beschleunigten Technologietransfer mit modernsten Entwicklungen im Bereich der neuen Werkstoffe Schritt halten, ohne sich an aufwendigen Forschungsvorleistungen beteiligen zu müssen. Dazu bedarf es jedoch einer Organisationsform, die den Technologietransfer marktwirtschaftlich strukturiert und Angebot und Nachfrage auf einem "Technologietransfermarkt" zusammenbringt. Eine Kommerzialisierung des Technologietransfers würde zudem bedeuten, daß durch die größere Marktnähe und die Möglichkeit, Forschungsergebnisse "zu vermarkten", Interesse und Beteiligung von Anbietern und Nachfragern auf ein höheres Niveau gehoben werden könnten, als es bis jetzt der Fall ist.

Ansätze dazu sind bereits vorhanden. So widmet sich das Netzwerk "Technologie-Allianz", an dem die Fraunhofer-Gesellschaft, Großforschungseinrichtungen, Universitäten und Einrichtungen verschiedener Bundesländer beteiligt sind, der Vermittlung von auf den Bedarf des Mittelstandes zugeschnittenen Technologieangeboten. Die Nutzung derartiger Angebote durch die Industrie könnte wesentlich dazu beitragen, die Überführung von Forschungsergebnissen zu beschleunigen. Insgesamt ist der Bereich des Technologietransfers von einer Fülle neuer Ideen und Konzepte gekennzeichnet. Eine stärkere Berücksichtigung darauf basierender Angebote in Technologieförderprogrammen der Bundesregierung könnte deren Effektivität beträchtlich steigern.

3. Fazit

Bereits seit 1984 fördert die Bundesregierung die Werkstoffforschung durch ein eigenständiges Programm. Die Fortschreibung des ersten stofforientierten Materialforschungsprogramms (Matfo) war begleitet von der Weiterentwicklung hin zu einem Materialforschungsprogramm für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts (Matech). Im Rahmen dieses technologieorientierten Programms werden

Werkstoffe für die Informationstechnik, die Energietechnik, die Verkehrstechnik, die Medizin- und Fertigungstechnik entwickelt. Langfristige ökologische Aspekte sollen verstärkt Berücksichtigung finden. Mit dem Programm wird angestrebt, den Innovationsprozeß zu beschleunigen und die Kooperation zwischen institutioneller und Industrieforschung zu verbessern, so daß die Diffusion von neuen Werkstoffen in breite Anwendungen schnell und effizient erfolgt.

Obwohl das Programm sehr breit angelegt ist, bestehen **Defizite** hinsichtlich der **Integration** außerdisziplinärer Bereiche, dies gilt insbesondere für die Umweltforschung und die Berücksichtigung rechtlicher Aspekte. Die Berücksichtigung dieser Bereiche ist oftmals entscheidend für die erfolgreiche Überführung von Forschungsergebnissen in Produkte.

Insgesamt wird dem **Technologietransfer** zu geringe Aufmerksamkeit gewidmet. Durch eine wirtschaftliche Orientierung des Technologietransfers könnten vor allen Dingen kleine und mittlere Unternehmen in die Lage versetzt werden, Ergebnisse der Werkstoffforschung maßgeschneidert für ihren Bedarf zu erwerben. Ein kommerzialisierter Technologietransfer würde durch den marktnahen Wettbewerb auch zu einer **Belebung** und **Beschleunigung** von Innovationsprozessen beitragen.

Die **Förderung der Werkstoffforschung** kann über verschiedene Instrumente erfolgen. Für das Matech-Programm wurde die direkte Förderung von Verbundprojekten gewählt, da diese eine zielgenaue Mittelzuwendung und Erfolgskontrolle gestattet. Indirekte und indirekt-spezifische Förderinstrumente, wie z.B. Steuerbegünstigungen, Sonderabschreibungen oder auch rückzahlbare Darlehen, sind jedoch für den Mittelstand oftmals attraktiver, da durch sie Entscheidungsfreiheit und Verantwortung bei den Unternehmen gelassen und eine flexiblere Behandlung anwendungsnahe Forschung und Entwicklung gewährleistet wird. Zudem könnte eine **differenziertere Anwendung förderpolitischer Instrumente** dazu beitragen, den breiten Mittelstand stärker als bisher an staatlichen Forschungsprogrammen zu beteiligen und damit zur Zukunftssicherung des Standortes Deutschland beitragen.

Literatur

ARTHUR D. LITTLE (1993): *Studie zur Evaluierung des Programms Materialforschung*. Bericht an den BMFT. Wiesbaden 1993

BUNDESMINISTERIUM FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE (1993): *Bundesbericht Forschung 1993*. Bonn 1993

BUNDESMINISTERIUM FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE (1993): *Neue Materialien für Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts (Matech)*. Programm. Bonn 1994

BUNDESMINISTERIUM FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE (1994): *Produktintegrierter Umweltschutz*. Programm. Bonn 1994

DER RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (1993): *Kommissionsvorschlag zu den spezifischen Programmen zur Durchführung des vierten gemeinschaftlichen Rahmenprogramms für Forschung und technologische Entwicklung - 1998*. KOM (93) 459 endg. Brüssel 1993

DEUTSCHER BUNDESTAG (1994): Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestages: *Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen*. Drucksache 12/8260. Bonn 1994

DEUTSCHER BUNDESTAG (1994): *Berufsbildungsbericht 1994*. Drucksache 12/7344. Bonn 1994

EG-KOMMISSION (1992): *Für eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung - Fünftes Umweltaktionsprogramm der EG*. KOM(92) 23/II endg., Brüssel 1992.

EG-KOMMISSION (1993): *Arbeitsdokument der Kommission zum wissenschaftlichen und technischen Inhalt der spezifischen Programme zur Durchführung des vierten gemeinschaftlichen Rahmenprogramms für Forschung und technologische Entwicklung (1994-1998) und des gemeinschaftlichen Rahmenprogramms für Forschung und Ausbildung in der europäischen Atomgemeinschaft (1994-1998)*. KOM(93) 459 endg. Brüssel 1993

EMPA - Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (1994): F. Eggimann und P. Fink: *Europäische Normungspolitik und neue Werkstoffe*. Dübendorf, St. Gallen 1994

INT - FHG-INSTITUT FÜR NATURWISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE TRENDA-NALYSEN (1993): Th. Kretschmer und J. Kohlhoff: *Vertiefende Untersuchung der technologischen Entwicklungslinien und -trends im Bereich neuer Werkstoffe*. Euskirchen 1993

ISI - FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SYSTEMTECHNIK UND INNOVATIONSFORSCHUNG (1994): H. Hiessl und U. Kuntze: *Neue Werkstoffe in der chemischen Industrie: Fallstudie der Innovations- und Diffusionsprozesse*. Karlsruhe 1994

IFO - IFO-INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG (1993): W.R. Streck: *Marktpotentiale neuer Werkstoffe*. München 1993

IÖW - INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG (1994): A.v. Gleich, S. Hellenbrandt und F. Rubick: *Umwelteinflüsse neuer Werkstoffe*. Heidelberg 1994

SOCHER, M.; RIEKEN, TH. (1994): *Neue Rohstoffe für Neue Werkstoffe - eine Bestandsaufnahme*. Materialien zum TAB-Arbeitsbericht Nr. 22, Bonn 1994

SOCHER, M.; RIEKEN, TH.; FLEISCHER, T.; BERG, M. (1994): *TA-Projekt "Neue Werkstoffe" Ergebnisse einer Patentrecherche*. Materialien zum TAB-Arbeitsbericht Nr. 22, Bonn 1994

SFS - SOZIALFORSCHUNGSSTELLE DORTMUND (1994): U. Ammon: *Auswirkungen neuer Werkstoffe in der Arbeitswelt: Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie Qualifikationsanforderungen bei komplexen neuen Werkstoffen*. Dortmund 1994

SACHVERSTÄNDIGENRAT (1993): *Jahresgutachten des Sachverständigenrates zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung*. Deutscher Bundestag, Drucksache 12/6170, Bonn 1993

ZERP - ZENTRUM FÜR EUROPÄISCHE RECHTSPOLITIK AN DER UNIVERSITÄT BREMEN (1993): J. Falke, G. Brüggemeier, H. Ginzky, U.U. Herbst und J. Viebrock: *Rechtliche Rahmenbedingungen bei der Erforschung und Entwicklung sowie bei der Verwendung neuer Werkstoffe*. Bremen

