



acatech BEZIEHT POSITION - NR. 3

> MATERIALWISSENSCHAFT UND WERKSTOFFTECHNIK IN DEUTSCHLAND

EMPFEHLUNGEN ZU PROFILIERUNG, LEHRE UND FORSCHUNG

NOVEMBER 2008

> INHALT

MITWIRKENDE AM PROJEKT	4
PRÄAMBEL	6
1 ZUSAMMENFASSUNG	7
1.1 Werkstoffe: Der Widerspruch zwischen Bedeutung und Image	7
1.2 Die Kette „Vom Material zum Produkt“	7
1.3 Lehre und Studium	7
1.4 Forschung	8
1.5 Forschungsförderung	8
2 EINLEITUNG	9
2.1 Die Situation der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: Bedarf an Richtungskorrekturen	9
2.2 Zielgruppen und Umfeld	10
2.3 Methodik	13
2.4 Die Positionen	14
3 WERKSTOFFE: DER WIDERSPRUCH ZWISCHEN BEDEUTUNG UND IMAGE	16
3.1 Werkstoffe und Werkstofftechnologien in Deutschland	16
3.2 Das große Innovationspotenzial der Werkstoffe	16
3.3 Die mangelnde Wahrnehmung der Bedeutung der Werkstoffe	17
4 DIE KETTE „VOM MATERIAL ZUM PRODUKT“	19
4.1 Der Weg von der Materialforschung zur Produktinnovation	19
4.2 Derzeitige Lücken in der Kette „Vom Material zum Produkt“	20
4.3 Ansätze zur Überwindung der Lücken in der Kette „Vom Material zum Produkt“	21
5 LEHRE UND STUDIUM	23
5.1 Die Lehre in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland	23
5.2 Ansätze zur Behebung des Nachwuchsmangels in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik	24
5.3 Ansätze zur Sicherung eines exzellenten Ausbildungsniveaus	25
6 FORSCHUNG	28
6.1 Forschung im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland	28
6.2 Relevante Themenschwerpunkte im Bereich der Forschung zu Materialwissenschaft und Werkstofftechnik	29
6.3 Ansätze zur Effizienzsteigerung der Forschung in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland	31
7 FORSCHUNGSFÖRDERUNG	33
7.1 Derzeitige Situation der Förderung in Deutschland	33
7.2 Ansätze zur Verbesserung der Forschungsförderung	34
8 PERSPEKTIVEN FÜR DIE WEITERE ARBEIT	38
9 LITERATURVERZEICHNIS	39

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISSN: 1863-1738/ISBN: 978-3-8167-7913-1

Alle Rechte vorbehalten
Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung von acatech unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

© acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2008

Geschäftsstelle	Hauptstadtbüro
Residenz München	
Hofgartenstraße 2	Jägerstraße 22/23
80539 München	10117 Berlin

Telefon + 49 (0) 89 / 5 20 30 90	Telefon + 49 (0) 30 / 39 88 50 71
Telefax + 49 (0) 89 / 5 20 30 99	Telefax + 49 (0) 30 / 39 88 50 72

E-Mail: info@acatech.de
Internet: www.acatech.de

Redaktion: Dr. Holger Jens Schnell
Koordination: Dr. Marc-Denis Weitze
Umschlaggestaltung: klink, liedig werbeagentur gmbh
Satz/Layout: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS, Sankt Augustin
Herstellung und Produktion: Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Printed in Germany

Verlag und Vertrieb:
Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Telefon + 49 (0) 711 / 970 25 00
Telefax + 49 (0) 711 / 970 25 08

E-Mail: irb@irb.fraunhofer.de
Internet: www.IRBbuch.de

MITWIRKENDE AM PROJEKT

> Projektleitung und Leiter des acatech Themennetzwerkes Werkstoffe

Prof. em. Dr. rer. nat. Dr. h. c. Hartwig Höcker, RWTH Aachen/acatech

> Projektgruppe

Dr. Thomas Barth, Freudenberg New Technologies KG

Dr. Thomas Behr, Daimler AG

Prof. Dr.-Ing. Christina Berger, Technische Universität Darmstadt/acatech

Univ. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Bleck, RWTH Aachen

Dr.-Ing. Jörg Brecht, Muhr und Bender KG

Dr.-Ing. Peter Dahlmann, ThyssenKrupp AG

Prof. Dr. Michael Dröscher, Evonik Degussa GmbH

Prof. Dr. rer. nat. Günter Gottstein, RWTH Aachen/BV MatWerk/acatech

Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka, Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile

Prof. Dr. Fred Robert Heiker, Gesellschaft Deutscher Chemiker/acatech

Dr. Frank Heinrich, Heraeus

Prof. Dr. rer. nat. Manfred Hennecke, BAM/acatech

Marc Hoffmann, SMS Group

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. oec. Dagmar Hülsenberg, Technische Universität Ilmenau/acatech

Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. Reiner Kopp, RWTH Aachen/acatech

Dr. Friederike Lindner, Robert Bosch GmbH

Dr.-Ing. Georg Lingg, Fuchs Petrolub AG

Dr.-Ing. Katrin Mädler, DB AG

Prof. Dr.-Ing. Matthias Niemeyer, Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH/acatech

Dr.-Ing. Pedro Dolabella Portella, BAM/BV MatWerk

Dr. Bernd Schimpf, Wittenstein bastian GmbH

Dr. Georg Staperfeld, Harting KGaA

Dr. Leonhard Walz, EnBW Energie Baden-Württemberg AG

Prof. Dr. Volker Warzelhan, BASF SE

Dr. Martin Weber, BASF SE

Dipl.-Ing. Karsten Westerhoff, Muhr und Bender

Prof. Dr. rer. nat. Albrecht Winnacker, Universität Erlangen-Nürnberg/acatech

> Interviewte Experten

Prof. Dr. Horst Biermann, TU Freiberg/Studientag Materialwissenschaft und Werkstofftechnik

Dr.-Ing. Peter Dahlmann, ThyssenKrupp AG/Impulskreis Werkstoffinnovation

Dr. Hans-Wilhelm Engels, Bayer MaterialScience

Dr. Gerd Eßwein, Freudenberg Forschung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. oec. Dagmar Hülsenberg, TU Ilmenau/acatech

Dr. Jacques Joosten, Dutch Polymer Institute

M.A. Int. Econ., Dipl.-Kfm. (Univ.) Joachim Klemens, Universität Kassel

Dr. Patrick Kölzer, Koelrit Composite Solutions

Dr. Friederike Lindner, Bosch GmbH

Prof. Dr.-Ing. Matthias Niemeyer, Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH/acatech

Dr. Michael Maurer, Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, AIF

Peter Pesch, Technologiezentrum für Oberflächentechnik Rheinbreitbach GmbH, TZO

Dr.-Ing. Dipl.-Math. Ulrich Prah, RWTH Aachen

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dipl.-Ing. KTD Tom Schöpe, TU Freiberg

Dipl.-Ing. Karsten Westerhoff, Muhr & Bender

> Wertvolle Informationen ergaben sich auch durch Gespräche mit folgenden Personen

Dr. Ralf Fellenberg, VDI Technologiezentrum

Dr. Frank Fischer, DFG

Dr.-Ing. Götz Heßling, RWTH Aachen

Dipl.-Pol. Jörg Maas, Deutscher Verband technisch-wissenschaftlicher Vereine DVT

Dr. Norbert Malanowski, VDI Technologiezentrum

Dipl.-Oec. Stephan Speith, Fraunhofer ISI

> Aufträge

Im Rahmen des Projekts wurde das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT gebeten, unter Einbindung des Instituts für Metallkunde und Metallphysik der RWTH Aachen Befragungen vorzubereiten, durchzuführen und auszuwerten, Recherchen durchzuführen sowie den vorliegenden Projektbericht zu disponieren und textlich zu gestalten. Die Federführung hatte Dipl.-Ing. Jennifer Kreysa (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT). Darüber hinaus waren Dr.-Ing. Sascha Klappert (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT), Dipl.-Ing. Sebastian Nollau (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT) sowie Dipl.-Ing. Rolf Berghammer (Institut für Metallkunde und Metallphysik, RWTH Aachen) beteiligt.

> Projektmanagement

Dr. Marc-Denis Weitz, acatech Geschäftsstelle

> Dieses Projekt wurde finanziell gefördert von folgenden Unternehmen

BASF SE, EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Evonik Degussa GmbH, Freudenberg & Co. KG, Harting KGaA, Robert Bosch GmbH, Salzgitter AG, ThyssenKrupp AG, Wittenstein AG

> Projektverlauf, Syndizierung und Veröffentlichung

Dieses Positionspapier wurde im Zeitraum Januar bis Oktober 2008 erarbeitet. Der acatech Vorstand hat das Papier am 21. Oktober 2008 syndiziert. Das Papier wurde der Öffentlichkeit erstmals im Rahmen des „Tags der Technologie 2008 in Rheinland-Pfalz“ am 3. November 2008 in Mainz vorgestellt.

PRÄAMBEL

Werkstoffe sind die Basis des produzierenden Gewerbes. Deutschland hat hier traditionell eine starke Position. Der großen wirtschaftlichen Bedeutung von klassischen Werkstoffen (Metallen, Glas/Keramik und Kunststoffen) und neuartigen Materialien (wie etwa Verbundwerkstoffen) steht jedoch eine geringe öffentliche Wahrnehmung gegenüber. Eine Folge davon ist, dass die entsprechenden Studiengänge nur von wenigen Studierenden belegt werden. Die Forschung ist vielfach an klassische Disziplinen gebunden, sodass sich Lücken in der Kette vom Material zum Produkt ergeben, die wiederum zu einem verzögerten interdisziplinären Transfer und schließlich zu einer verzögerten Umsetzung in Innovationen führen.

Im Sinne ihrer übergreifenden Ziele wie Nachwuchsförderung und Praxistransfer setzt sich acatech, die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, für die Stärkung der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland ein, um letztendlich die Wertschöpfung in Deutschland zu mehren.

Das vorliegende Papier ist das Ergebnis der Analyse einer Projektgruppe des Themennetzwerks Werkstoffe von acatech. Es soll der Öffentlichkeit, den Forschungsförderorganisationen, der Politik und den Hochschulen die derzeitige Situation der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland vor Augen führen und den notwendigen Handlungsbedarf aufzeigen.

Diese Analyse hat ihren Ursprung in neun Hypothesen, die in einem Workshop im Oktober 2007 entwickelt und durch eine schriftliche Befragung und Experteninterviews verifiziert bzw. modifiziert und zu Positionen weiterentwickelt wurden. Aus den neun Positionen (s. Abschnitt 2.4) hat acatech Aussagen und Empfehlungen zu fünf Handlungsfeldern abgeleitet. Diese werden im Folgenden (Abschnitte 1.1 bis 1.5) knapp zusammengefasst und in den anschließenden Abschnitten ausführlicher erläutert.

1 ZUSAMMENFASSUNG

1.1 WERKSTOFFE: DER WIDERSPRUCH ZWISCHEN BEDEUTUNG UND IMAGE

Werkstoffe und Werkstofftechnologien – sowohl klassische als auch neuartige – sind die Basis und der Motor für Produkte und Produktinnovationen: Die wichtigsten werkstoffbasierten Branchen in Deutschland erzielen einen jährlichen Umsatz von nahezu 1 Billion Euro und beschäftigen rund 5 Millionen Menschen.

Trotzdem nimmt die Öffentlichkeit die Bedeutung der Werkstoffe nicht angemessen wahr. Werkstoffe sind in Produkten versteckt, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik haben in der Öffentlichkeit eine zu schwache Stimme. Das Innovationspotenzial der Werkstoffe wird verkannt.

> acatech empfiehlt

Um die öffentliche Wahrnehmung der Bedeutung der Werkstoffe zu erhöhen, bedarf es einer verstärkten Öffentlichkeitsarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft. Werkstoffe und ihre herausragenden, mitunter überraschenden Eigenschaften sowie ihre Beziehung zu Produkten und insbesondere zu Produktinnovationen des täglichen Gebrauchs müssen für die Öffentlichkeit sichtbar gemacht werden.

Um die Identität der Werkstoffe zu stärken, sollte die Begriffskombination „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ generell als übergeordneter Begriff mit Markencharakter verwendet werden, insbesondere bei der Bezeichnung von Studiengängen, in der Forschung und Forschungsförderung.

1.2 DIE KETTE „VOM MATERIAL ZUM PRODUKT“

Komplexität und Interdisziplinarität sind dem Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik immanent. Aber gerade hier verzögert eine Reihe von Lücken in der Kette „Vom Material zum Produkt“ die Umsetzung von Ergebnissen aus der Materialforschung in Produktinnovationen, treibt den Aufwand der Forschungs- und Entwicklungsprojekte in die Höhe oder verhindert die Entwicklung und den Einsatz neuer Werkstoffe. Diese Lücken müssen in den Blick genommen werden, damit Materialforschung leichter zur Produktinnovation führt.

> acatech empfiehlt

Der Wissenstransfer entlang der gesamten Kette „Vom Material zum Produkt“ sollte durch eine stärkere Vernetzung und Kooperation zwischen den beteiligten Akteuren gefördert werden. Hier ist der Austausch „über Köpfe“, insbesondere über Forscher aus Wissenschaft und Wirtschaft, besonders effektiv.

1.3 LEHRE UND STUDIUM

Materialwissenschaftliche und werkstofftechnische Studiengänge werden von den Studierenden in zu geringem Maße wahrgenommen. Dies liegt zunächst an der generell schwachen öffentlichen Wahrnehmung der Werkstoffe. Zudem werden die vorhandenen Studiengänge mit ihren Berufschancen nicht transparent dargestellt. Schließlich fehlt es ihnen an Attraktivität und zielorientierter Ausrichtung vom Material zum innovativen Produkt.

> acatech empfiehlt

Materialwissenschaftliche und werkstofftechnische Studiengänge müssen ein klares Profil haben, aus dem ihre Zukunftsorientierung hervorgeht, damit die Studierenden auf sie aufmerksam werden. Dabei ist auch auf die Berufsaussichten hinzuweisen.

Die Hochschulen sollten materialwissenschaftliche und werkstofftechnische Studiengänge „Vom Material zum Produkt“ gestalten. Dies ist didaktisch sinnvoll, stärkt das interdisziplinäre Denken und ist zugleich für die Studierenden attraktiv. Neben einer soliden materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Grundausbildung sollte ein früher Kontakt zu Verarbeitungs- und Prozesstechnologien sowie zur Produktherstellung aufgebaut werden.

Die Lehrinhalte müssen ständig bedarfsorientiert weiterentwickelt werden. Diesbezügliche Aktivitäten des neu gegründeten Studientags Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sind zu unterstützen.

1.4 FORSCHUNG

Die Forschungskette vom Material zum Produkt ist vielfach unterbrochen, und es mangelt schon in der Ausbildung an Kommunikation zwischen Materialwissenschaftlern und Werkstofftechnikern. Solche Schnittstellenverluste führen zu erheblichen Verzögerungen bei der Umsetzung von Materialien in innovative Produkte und umgekehrt bei der Realisierung von Produktideen mit geeigneten Materialien. Darüber hinaus ist die Forschungslandschaft in Deutschland in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik infolge einer historisch bedingten Dezentralisierung bzw. einer Aufteilung der Forschung nach Fakultäten und Werkstoffklassen zergliedert.

> acatech empfiehlt

Materialwissenschaftler und Werkstofftechniker müssen stärker zusammenarbeiten. Eine Vernetzung auf Verbandsebene schafft die neu gegründete Bundesvereinigung MatWerk, deren Aktivitäten zu unterstützen sind.

Forschungsprojekte sollten interdisziplinär gestaltet werden, ohne dabei Nischenbereiche für Fachleute auf Spezialgebieten zu vernachlässigen.

Sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene sollte die Erarbeitung von Leitbildern und Roadmaps als koordinative Instrumente gefördert werden. Dies kann auch auf Projektebene eine Orientierung bieten, und zwar über verschiedene Entwicklungsstufen und Entwicklungspartner hinweg.

1.5 FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Während die Förderung Grundlagenorientierter Forschung effizient erscheint, sind bei der Förderung der angewandten Forschung sowie an der Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung noch Verbesserungen wünschenswert.

> acatech empfiehlt

Die Förderorganisationen sollten ihre Förderprogramme möglichst flexibel gestalten und gleichzeitig untereinander besser abstimmen, um eine durchgängige Förderung von der Grundlagenforschung bis zur Produktentwicklung sicher zu stellen.

Bei der themenseitigen Fokussierung der Forschungsförderung sollten die Förderorganisationen den traditionellen Werkstoffen ebenso Gewicht beimessen wie den sogenannten Hightech-Werkstoffen. Schließlich sollten sie auch neue Finanzierungskonzepte für Forschung im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik entwickeln, insbesondere für die industriennahe Prototyp- und Pilotphase.

2 EINLEITUNG

2.1 DIE SITUATION DER MATERIALWISSENSCHAFT UND WERKSTOFFTECHNIK: BEDARF AN RICHTUNGSKORREKTUREN

Die Tatsache, dass die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften die Notwendigkeit sieht, sich einem so grundsätzlichen Thema wie den „Werkstoffen“ zuzuwenden, ist einerseits ein Zeichen für die Leistungsfähigkeit der materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Forschung und zeigt die Schlüsselrolle des Fachgebiets der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik für alle produktiven Sektoren der Wirtschaft in Deutschland. Sie ist auf der anderen Seite jedoch auch ein Indiz für den Bedarf an gezielten Richtungskorrekturen, die ein integriertes Vorgehen unter Beteiligung der Forschungsinstitutionen, der Forschungsförderer, der Unternehmen, der Verbände und der Politik erfordern. Ziel dieses Papiers ist es, die Randbedingungen für eine erfolgreiche Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu analysieren und Empfehlungen für konkrete Maßnahmen zur Stärkung der Position der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu geben.

Erst seit wenigen Jahren trägt das für die Erforschung und Entwicklung von Werkstoffen relevante Fachgebiet die einheitliche Bezeichnung „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“. Mit dieser Namensgebung wird die Untrennbarkeit zweier Gebiete betont, deren Entwicklung in der Vergangenheit oft parallel verlief: die Materialwissenschaft, im Sinne des naturwissenschaftlich geprägten Studiums der Materialherstellung, der Materialstruktur und der Materialeigenschaften, und die Werkstofftechnik, d. h. die ingenieurwissenschaftlich orientierte Entwicklung von Werkstoffen sowie von Verarbeitungsverfahren aufbauend auf Erkenntnissen der Materialwissenschaft.¹ Darüber hinaus treten im Sinne einer horizontalen Integration erstmals die Forschungsaktivitäten der verschiedenen Werkstoffe und Werkstoffklassen² in Deutschland unter einer einheitlichen Bezeichnung auf. Dennoch ist bis heute die Zusammenarbeit sowohl unter den Vertretern der verschiedenen Werkstoffklassen als auch entlang der Werkstoffentwicklungsketten nur schwach ausgeprägt. Dies hat oft eine verzögernde Wirkung auf die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die praktische Anwendung und somit wirtschaftliche Hemmnisse zur Folge. Die einheitliche Bezeichnung stellt einen ersten und entscheidenden Schritt dar, um Kräfte zu bündeln und die Entwicklung sowie den Einsatz von

Werkstoffen zu beschleunigen. Allerdings ist die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik ein ausgeprägt interdisziplinärer und heterogener Wissenschaftsbereich. Die daraus resultierenden aktuellen Schwierigkeiten sind offensichtlich: mangelnde Transparenz, fehlende Koordination und fehlendes gemeinsames Auftreten. Dieses Papier zeigt Ansätze zur Überwindung dieser Schwierigkeiten auf und trägt somit zur Ausgestaltung der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik bei.

Gegenüber den Belangen von Einzeldisziplinen oder Werkstoffklassen stehen in diesem Papier die gemeinsamen Herausforderungen der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik im Fokus. Diese werden wesentlich durch ein grundlegendes Problem aller Materialien oder Werkstoffe beeinflusst: Zwar stehen Werkstoffe am Anfang nahezu aller Güter und Produkte des täglichen und industriellen Gebrauchs, in der öffentlichen Wahrnehmung stehen sie jedoch oft im Schatten der Endprodukte. Das sich daraus ergebende Vermittlungsproblem der Relevanz der Werkstoffe für die Entwicklung heutiger und zukünftiger Produkte pflanzt sich fort und manifestiert sich in vielen Bereichen: von einer zu geringen Nachfrage der Studierenden nach Werkstoffstudiengängen über eine mangelnde Effizienz bei der Umsetzung von wissenschaftlichen Erkenntnissen in marktreife Produkte bis hin zu einer fehlenden gemeinsamen Wahrnehmung der werkstoffbasierten Wissenschaftsdisziplinen.

Ein wichtiges Bestreben dieser Initiative ist die Aufhebung der geschilderten Diskrepanz zwischen Wahrnehmung und Bedeutung der Werkstoffe durch eine Verbesserung des Bekanntheitsgrades aller Werkstoffe, insbesondere hinsichtlich der Breite ihrer Einsatzgebiete und ihrer Anwendungsmöglichkeiten, ihrer Bedeutung für Produktentwicklungen und ihres enormen Entwicklungspotenzials. Dabei wird gezielt ein Gegenwicht zur aktuellen Fokussierung auf Schlagwörter wie „Nano-“ oder „Biomaterialien“ geschaffen, die sowohl in der Öffentlichkeit als auch bei Förderorganisationen zu beobachten ist. Diese zumeist nur unzureichend definierten Werkstoffe werden bei der öffentlichen Forschungsförderung im Vergleich zu traditionellen Werkstoffen, auf denen die industrielle Nutzung ruht, bevorzugt, obwohl die Innovationspotenziale der traditionellen Werkstoffe kurzfristig und häufig auch auf längere Sicht deutlich höher sind.³

¹ Vgl. Höcker 2008, S. 9.

² Zu nennen sind hier Werkstoffklassen wie Eisen/Stahl, Nichteisen-Metalle, Kunststoffe, Keramik, Glas, Baustoffe, Naturstoffe, Mikro-/Nanowerkstoffe, Biomaterialien, Halbleiter, Verbund-/Hybridwerkstoffe.

³ Vgl. Höcker 2008, S. 9.

Die Kette „Vom Material zum Produkt“ als Leitidee steht sowohl bei der Analyse der Herausforderungen als auch bei der Ableitung von Lösungsansätzen im Mittelpunkt. Die Kette impliziert die zahlreichen Schritte in der Wertschöpfungskette auf dem oft zeitintensiven Weg von der Materialforschung über die Werkstofftechnik bis hin zur Produktentwicklung und Produktherstellung. Sie verbindet die Bereiche Wissenschaft und Wirtschaft und erfordert das Zusammenspiel zahlreicher verschiedener Disziplinen und Instanzen.

Diese und weitere Kernideen wie auch die Entstehung dieses Papier beruhen vor allem auf der Arbeit des acatech Themennetzwerks Werkstoffe, deren Vision sich wie folgt formulieren lässt:

- „Die Öffentlichkeit nimmt die Bedeutung der Werkstoffe in angemessener Weise wahr.“
- „Die werkstoffwissenschaftlichen Studiengänge sind interdisziplinär, produktorientiert und daher attraktiv für die Studierenden.“
- „Forschung, Entwicklung und Umsetzung neuer Werkstoffe in innovative Produkte bilden eine geschlossene Kette; dies stellt einen zügigen Transfer sicher.“⁴

Dieses Papier ist als Beitrag zur Operationalisierung dieser Vision zu sehen. Überdies legt es ein Fundament und schafft Leitlinien, nach denen in den nächsten Jahren die Aktivitäten des Themennetzwerks ausgerichtet werden können.

2.2 ZIELGRUPPEN UND UMFELD

Um die beabsichtigte Wirkung zu entfalten, soll ein breiter Adressatenkreis angesprochen werden. Dazu gehören alle beteiligten Instanzen entlang der Wertschöpfungskette ebenso wie universitäre und außeruniversitäre Forschungsinstitutionen, industrielle FuE-Einrichtungen, Zulassungs- und Prüfanstalten und auch Unternehmen in den unmittelbar werkstoffbasierten Branchen. Das Papier richtet sich gleichermaßen an Hochschulen und Universitäten, an Fördermittelgeber und Verbände. Als wesentliche Entscheidungsträger bilden die Bundesregierung, die Landesregierungen und die europäische Politik weitere wichtige Adressaten.

Die effizientere Marktumsetzung von Forschungsergebnissen im Bereich der Werkstoffe wurde bereits von einigen Initiativen als wichtiges Handlungsfeld identifiziert. Dieses Papier begreift sich als Ergänzung und Verschmelzung dieser Aktivitäten, bei denen die Förderung der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland entweder unmittelbar oder als Teil der Gestaltung der Forschungslandschaft im Allgemeinen im Vordergrund stehen.

Im Folgenden sind diejenigen Initiativen aufgeführt, die bei der Erarbeitung dieses Papiers berücksichtigt wurden.

- Zunächst seien die Hightech-Strategie sowie der erste Fortschrittsbericht der Bundesregierung genannt, der die Rolle der Werkstofftechnologien als Schlüsseltechnologien mit Querschnittscharakter zur Förderung des Wachstums und zur Sicherung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands hervorhebt.⁵
- Als das förderstärkste nationale Förderprogramm mit besonderem Werkstoffbezug ist das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ins Leben gerufene Rahmenprogramm „Werkstoffinnovation für Industrie und Gesellschaft – WING“ mit einem breiten Spektrum an Handlungsfeldern zu nennen.⁶ Initiierte Förderprojekte reichen von anwendungsorientierten Werkstoffentwicklungen über strategische Themen wie das durch das VDI Technologiezentrum bearbeitete BMBF-Projekt zur Identifizierung von Innovationshemmnissen in der Werkstoffforschung und -entwicklung⁷ bis hin zu öffentlichkeitswirksamen Initiativen wie die Wanderausstellung „expedition materia“.⁸
- Schwerpunktprogramme und Förderprojekte der DFG wie beispielsweise die „Strategie zur Erhöhung der Effizienz und Zukunftsorientierung im Bereich Materialwissenschaften und Werkstofftechnik“⁹ zeigen ferner, dass der Förderung der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik auch aus der Sicht der grundlagenorientierten Forschung eine hohe Priorität beigemessen wird.
- Das hier vorliegende Papier steht im Einklang mit den Zielen der neugegründeten Bundesvereinigung MatWerk wie auch des Studientags Materialwissenschaft und Werkstofftechnik.¹⁰

- Der Impulskreis „Werkstoffinnovation“ ist eine industriegetriebene Initiative mit dem erklärten Ziel, den Technologie- und Wissenstransfer zwischen Forschung und Industrie zu fördern. Die Initiative wird auch unter der BDI-Initiative „Innovationsstrategien und Wissensmanagement“ geführt.¹¹
- Die tragende Rolle neuer Werkstoffe für das Hervorbringen von Produktinnovationen wird ebenfalls durch die Studie „Innovationsstandort Deutschland – quo vadis“ der Unternehmensberatung The Boston Consulting Group betont.¹²
- Berücksichtigung fanden auch die Arbeiten zum im Juni 2008 erschienenen Papier der Forschungsunion „Zukunftsfeld Werkstofftechnologien“.¹³
- Zu nennen ist ebenfalls das „European White Book on Fundamental Research in Materials Science“ der Max-Planck-Gesellschaft.¹⁴
- Inhaltliche Impulse lieferten ferner europäische Strategieprogramme, so beispielsweise „Strategic Research“-Agenden aus thematisch verwandten Technologieplattformen des 7. Forschungsrahmenprogramms der Europäischen Union (etwa SusChem¹⁵), relevante Arbeiten aus dem außereuropäischen Ausland (z. B. das „Materials Science Outlook“ des National Institute for Materials Science (NIMS), Japan)¹⁶ sowie Initiativen europäischer Nachbarländer, insbesondere das britische Programm „A Strategy for Materials“ (siehe Kasten). Dieses Beispiel zeigt, dass zahlreiche Probleme der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik keine ausschließlich nationalen Probleme darstellen. Jenseits von Länderspezifika liefern vergleichbare Strategiearbeiten im europäischen Ausland wertvolle Anregungen zur kontinuierlichen Optimierung der Ausrichtung und Struktur der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland.

4 Höcker 2008, S. 10.

5 Vgl. BMBF 2006, S. 95ff.; BMBF 2007, S. 53 ff.

6 <http://www.fz-juelich.de/ptj/werkstofftechnologien>.

7 VDI Technologiezentrum 2008.

8 <http://www.expedition-materia.de>.

9 Roadmapping 2008.

10 <http://www.matwerk.de>.

11 Vgl. BDI 2008, S. 184-186 und S. 196-198.

12 Vgl. Boston Consulting Group 2006, S. 59 ff.

13 Forschungsunion 2008.

14 Max-Planck-Gesellschaft 2004.

15 <http://www.suschem.org>.

16 <http://www.nims.go.jp/eng/news/outlook/index.html>.

> „A Strategy for Materials“

Das Papier „A Strategy for Materials“ (2006) wurde vom „Materials Innovation and Growth Team“ erstellt, einer Gruppe hochrangiger Vertreter aus Wirtschaft, Wissenschaft, Verbänden, Fachgesellschaften, Forschungsförderern, Gewerkschaften und Ministerien. Ziel war die Erarbeitung von konkreten Handlungsmaßnahmen zur Stärkung der Materialforschung und Werkstoffindustrie in Großbritannien.

Der Leitbildcharakter von „A Strategy for Materials“ ist vor allem auf die ausgeprägte Supply-Chain-Fokussierung zurückzuführen (also die Kette der Werkstoffentwicklung, -herstellung und -verarbeitung): Anstelle der Erarbeitung von Empfehlungen für einzelne Werkstoffklassen werden allgemeine Problemstellungen des gesamten Bereichs adressiert, und es wird eine umfassende Strategie mit Relevanz für alle Bereiche der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik geschaffen. Durch die kollektive Besinnung auf die gemeinsamen Herausforderungen wird dabei der Problematik der Heterogenität bereits auf konzeptioneller Ebene begegnet.

Als weitere Maßnahme im Streben nach einer schrittweisen Vereinheitlichung ist die enge Verknüpfung zwischen der Erstellung des Strategiepapiers und der Gründung eines gemeinsamen Dachverbandes (MatUK) zu nennen.¹⁷ Als gemeinsame „Stimme“ aller materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Bereiche wird dieser bei der Umsetzung und Koordinierung der im Strategiepapier vorgestellten Maßnahmen eine entscheidende Rolle spielen.

Die britische Initiative setzt an der mangelnden Wahrnehmung des Einflusses der Werkstoffe selbst bzw. der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik auf den technologischen Fortschritt, auf das wirtschaftliche Wachstum und auf den gesellschaftlichen Wohlstand an, die sich in der Unterrepräsentanz des Bereichs und der Branche spiegeln. Diese Missstände werden in erster Linie in Bezug zur ausgeprägten Heterogenität des Bereichs gesetzt:

„The diversity of the materials community has previously made it difficult to achieve a collective vision and to respond with a coherent strategy to the major challenges of the day, globalisation, sustainability and the environment.“ (A Strategy for Materials 2006, S. 5)

¹⁷ <http://www.matuk.co.uk>.

2.3 METHODIK

> Workshop

Die Erarbeitung des acatech Papiers „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland“ geht zurück auf einen Expertenworkshop, der am 17. Oktober 2007 unter dem Titel „Werkstoffe als Motor für Innovationen“ unter Leitung von Hartwig Höcker durchgeführt wurde. Aus verschiedenen Perspektiven beleuchteten zehn Referenten aus Wissenschaft und Wirtschaft die Situation der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik fokussiert auf Deutschland, gaben praxisnahe Verbesserungsvorschläge und setzten durch ihre Vorträge die entscheidenden Impulse für die Inhalte dieses Papiers. Im Nachgang des Workshops wurden die Beiträge als Band der Reihe „acatech DISKUTIERT“ publiziert.¹⁸

Die Kernideen des Workshops wurden in der Folge auf eine breitere Basis gestellt und in das Format dieses Papiers integriert.

> Hypothesen

Als methodischer Ansatz diente ein hypothesenbasiertes Vorgehen: Im ersten Schritt wurden die Vortragsinhalte in Form von neun möglichst konsistenten und überschneidungsfreien Hypothesen verdichtet. Die festgelegten Hypothesen wurden durch eine schriftliche Befragung und anschließend durch Expertengespräche und Recherchearbeit validiert.

> Schriftliche Befragung und Experteninterviews

Es wurde keine breit angelegte, statistisch basierte Befragung durchgeführt, sondern eine fokussierte, qualitativ auszuwertende Umfrage (mit nationalem Fokus). Mit dieser Projektbearbeitung wurde ein Team der Abteilung Technologiemanagement des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT beauftragt.

Die Teilnehmer der Befragung wurden vornehmlich aus dem Kreis der acatech Mitgliederversammlung und der acatech Senatsunternehmen zusammengestellt; etwa ein Drittel der Fragebögen wurde zudem an Führungskräfte in werkstoffbasierten Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft versandt. Der Teilnehmerkreis umfasste sowohl Vertreter der Forschung als auch Vertreter der

¹⁸ Höcker 2008.

Industrie und der Verbände als Ziel- und Interessensgruppen. Der zwölfseitige Bogen umfasste Fragen zu den Themenbereichen Werkstoffe (Bedeutung und Innovationspotenzial), Forschung, Lehre und Förderung.

Aus der im März und April 2008 durchgeführten Befragung wurden entsprechend einer Rückläuferquote von 32 Prozent 71 ausgefüllte Fragebögen ausgewertet (davon 73 Prozent aus Universität/Forschungseinrichtungen und 27 Prozent aus Industrie und Verbänden). Je nach Frage variierten sowohl die Grundgesamtheit als auch die Verhältnisse beider Gruppen. Bei hinreichenden Rückläuferzahlen wurden die jeweiligen Auswertungen der Untermengen einander gegenübergestellt. Mit 82 Prozent der Rückläufer, die zum Kreis von acatech gehören, geben die Umfrageergebnisse dabei insbesondere die Sichtweise von acatech wieder.

Hinsichtlich einiger Fragen ergab sich aber ein verzerrtes Bild, was auf zwei Ursachen zurückgeführt wird. Es handelt sich dabei um grundsätzliche Probleme dieses Wissenschaftsbereichs und der Branche:

- Bereits beim Entwurf des Fragebogens führte das Fehlen einer Klassifizierungsstruktur, die eine eindeutige Zuordnung aller Konstruktions- und Funktionswerkstoffe inkl. der Verbundwerkstoffe zulässt, zwangsläufig zu Unschärfen.
- Obwohl durch die Auswahl der Befragten eine hohe Repräsentativität angestrebt wurde, spiegelte sich bei der Analyse der werkstoffklassenspezifischen Fragestellungen die kontingente Zusammensetzung des Teilnehmerkreises im Sinne der „Werkstoffklassenzugehörigkeit“ wider. Möglicherweise ist gerade dies ein eindrucksvoller Beleg für die „Zergliederung“ des Wissenschaftsfeldes und der Branche, die in diesem Papier mehrfach thematisiert wird. Aufgrund dieser Probleme wird auf werkstoffklassenspezifische Betrachtungen verzichtet.

Die Ergebnisse der Umfrage in einzelnen Themenbereichen wurden in vertiefenden Interviews mit Experten inner- und außerhalb des acatech Kreises beleuchtet.

> Recherche

Neben dem qualitativen Diskurs wurden die Ergebnisse mit den zahlreichen relevanten Initiativen, Aktivitäten und Strategiearbeiten aus dem In- und teilweise auch aus dem Ausland abgeglichen.

> Projektgruppe

Die Projektgruppe diskutierte und validierte die Ergebnisse der Befragungen und überführte die Ausgangshypothesen in neun Positionen. Daraus wurden schließlich Empfehlungen abgeleitet.

2.4 DIE POSITIONEN

Die geschilderte Methodik wurde genutzt, um die neun ursprünglichen Hypothesen in „acatech Positionen“ zu überführen. Sie dienten als roter Faden für die Projektarbeit und stellen gleichzeitig einen Meilenstein dieser Arbeit dar.

> Positionen zu Bedeutung und Innovationspotenzial**Position 1**

Werkstoffe und Werkstofftechnologien sind wesentliche, aber verborgene Innovationstreiber.

Position 2

Sowohl die sogenannten Hightech-Werkstoffe als auch die traditionellen Werkstoffe haben ein erhebliches Innovationspotenzial.

Position 3

„Lücken“ in der Wertschöpfungskette von der Materialforschung über die Werkstoffentwicklung bis hin zur Produktherstellung verzögern werkstoffgetriebene Innovationen.

> Positionen zu Lehre und Studium**Position 4**

Zur Befriedigung der Nachfrage nach Absolventen materialwissenschaftlicher und werkstofftechnischer Studiengänge in Deutschland müssen der Bekanntheitsgrad und die Transparenz der Studiengänge erhöht sowie die Attraktivität, vor allem im Sinne eines stärkeren Produktbezugs, gesteigert und vermittelt werden.

Position 5

Vorrangige Aufgabe der materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Studiengänge ist es, die konzeptionelle Befähigung der Studierenden zur Erarbeitung von Problemlösungen, d. h. die materialwissenschaftliche und werkstofftechnische Kompetenz, auf breiter Basis zu entwickeln.

> Positionen zur Forschung und Förderung**Position 6**

Um die weltweit starke Stellung Deutschlands in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik auch für die Zukunft zu sichern, muss sowohl die eigenständige materialwissenschaftliche Grundlagenforschung als auch die an den Industrieanforderungen ausgerichtete anwendungsbezogene Werkstofftechnik stark sein.

Position 7

Um die Identität und Effizienz der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland zu steigern, bedarf es gezielter und gemeinsamer Anstrengungen aller Werkstoffklassen, also einer integrativen Vorgehensweise.

Position 8

Die Förderprogramme müssen darauf abzielen, dass die Effektivität und Geschwindigkeit in der Umsetzung von Forschungsergebnissen in innovative Produkte in Deutschland erhöht werden.

Position 9

Flexible Fördermodelle zur Kooperation zwischen Forschungsinstituten und Unternehmen sind notwendig, um werkstoffgetriebene Innovationen zu fördern.

3 WERKSTOFFE: DER WIDERSPRUCH ZWISCHEN BEDEUTUNG UND IMAGE

3.1 WERKSTOFFE UND WERKSTOFFTECHNOLOGIEN IN DEUTSCHLAND

Werkstoffe oder Materialien stehen am Anfang nahezu aller Güter und Produkte des täglichen und industriellen Gebrauchs.¹⁹ Als erstes Glied in der Wertschöpfungskette prägen die Werkstoffe die Eigenschaften, Funktionalität und Qualität der Endprodukte. Qualitäts- und Leistungssteigerungen sowie Kostenreduzierungen durch optimierte Werkstoffe und deren Herstellung pflanzen sich daher bis zur Produkt- oder Systemebene fort, wodurch die Basis für Produktinnovationen geschaffen wird.

Werkstofftechnologische Entwicklungen²⁰ führen zu leistungsfähigeren Herstellungs-, Verarbeitungs- oder Verwertungsverfahren in den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern. Die Innovationsstärke und -dynamik in Deutschland hängt daher in hohem Maße vom Leistungsniveau der Werkstoffe und Werkstofftechnologien ab.²¹ Ein quantitativer Vergleich des Innovationsbeitrags gegenüber anderen Produktionsfaktoren wie der Fertigung oder der Konstruktion ist kaum möglich; der überragende Beitrag der Werkstoffe wird jedoch durch aktuelle Studien betont, die den Anteil aller technischen Innovationen, die direkt oder indirekt von Werkstoffen abhängen, auf rund 70 Prozent beziffern.²²

Vor dem Hintergrund zukünftiger Herausforderungen wie der Ressourcenverknappung und der steigenden Weltbevölkerung ist es zwingend erforderlich, die Bewertung von Innovationen um die Frage der Nachhaltigkeit zu erweitern. Aufgrund ihres Potenzials, den Material- und Ressourceneinsatz effizienter zu gestalten²³, sind Werkstofftechnologien in besonderem Maße in der Lage, zur Lösung dieser Herausforderungen beizutragen.

> Werkstofftechnologien als Schlüsseltechnologien und Wachstumstreiber in Deutschland

In fast allen produzierenden Industriezweigen stellen Werkstofftechnologien die Basis oder den Motor für Produkt- und Prozessinnovationen mit weltweiten Marktpotenzialen dar. Der

Fahrzeug- und Maschinenbau, die chemische Industrie, die Energietechnik, die Elektro- und Elektronikindustrie sowie die Metallherzeugung und -verarbeitung erzielen als wichtigste werkstoffbasierte Branchen in Deutschland zusammen einen jährlichen Umsatz von nahezu 1 Billion Euro und beschäftigen rund 5 Millionen Menschen. Der Materialkostenanteil der gesamten deutschen Wirtschaft umfasst ca. 570 Mrd. Euro (inkl. Bausektor); dies entspricht zwischen 40 und 50 Prozent der Bruttoproduktionskosten, mit steigender Tendenz.²⁴

Über diese Abschätzung hinaus liegt noch keine detaillierte Bewertung des Wertbeitrags der Werkstoffe in Deutschland vor, die sowohl der Material- und Werkstoffvielfalt gerecht wird als auch die Wertschöpfung aller Stufen im Lebenszyklus eines Produktes oder Systems von der Erzeugung über die Verarbeitung und Vermarktung bis hin zur Verwertung berücksichtigt. Erst eine solche Betrachtung würde eine verlässliche Basis schaffen, um fundierte Aussagen über die volkswirtschaftliche Relevanz der Werkstoffe zu treffen, um die immense Bedeutung der Werkstoffe transparent zu machen, um Forschungs- und Förderschwerpunkte festzulegen und zu begründen.

3.2 DAS GROSSE INNOVATIONSPOTENZIAL DER WERKSTOFFE

Innovationspotenziale können unter verschiedenen Gesichtspunkten bewertet werden: Häufig wird unter dem Begriff „Potenzial“ der zu erwartende Umsatz unter Berücksichtigung der Faktoren Aufwand und Realisierungswahrscheinlichkeit verstanden. Doch gerade im Kontext der Werkstoffe, insbesondere dann, wenn nur kleinste Mengen eines speziellen Werkstoffs für ein Hightech-Erzeugnis benötigt werden, wird die Innovationsfinanzierung auf der Produkt- oder Systemebene nicht zwangsweise aufwandsgerecht auf die Werkstoffebene umgelegt. Daher bedarf es im Bereich der Werkstoffe einer Erweiterung des rein wirtschaftlich bzw. umsatzgetriebenen Begriffsverständnisses.

Eine Priorisierung des Innovationspotenzials einzelner Werkstoffe oder Werkstoffklassen erscheint weder pauschal möglich

noch zielführend. In allen Werkstoffklassen sind Entwicklungssprünge möglich, die zu Markterfolgen führen – dies betrifft gleichermaßen traditionelle wie auch neuartige Werkstoffe, es betrifft Konstruktionswerkstoffe und Funktionswerkstoffe und es betrifft sowohl Standardwerkstoffe (Commodities) als auch Spezialwerkstoffe (Specialities). Einhergehend mit der allgemeinen Entwicklungstendenz hin zu Systemtechnologien, kommt es auch im Werkstoffbereich immer stärker darauf an, Werkstoffentwicklungen auf innovative Weise in Werkstoff- oder Produktverbünde zu integrieren, sodass die spezifischen Eigenschaften des jeweiligen Werkstoffs zur Geltung kommen und Alleinstellungsmerkmale auf der Systemebene bewirken. Entscheidend ist es dabei, die Entwicklungsarbeit in einzelnen Werkstoffklassen zu koordinieren und auf marktorientierte Entwicklungsschwerpunkte auszurichten.

> Dominante Mechanismen bei werkstoffgetriebenen Innovationen

In den Innovationsmechanismen hat sich ein allmählicher Wandel vollzogen: Die ehemals dominierende Suche nach Anwendungen für neuentwickelte Werkstoffe (Push-Prinzip) wurde zunehmend verdrängt zugunsten der Auswahl der am besten geeigneten Lösung aus der Vielzahl möglicher Materialien und der gezielten Werkstoffentwicklung in Abhängigkeit von den Kundenanforderungen (Pull-Prinzip).²⁵ Dieses Bild wurde durch die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Befragungen uneingeschränkt bestätigt. In der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik erscheint insbesondere ein Gleichgewicht beider Prinzipien durch die anforderungsgetriebene Entwicklung von Werkstofftechnologien, gefolgt von der Verwertung der neuen Materialien oder Werkstofftechnologien in weiteren Anwendungsfeldern, Erfolg versprechend.

3.3 DIE MANGELNDE WAHRNEHMUNG DER BEDEUTUNG DER WERKSTOFFE

Die öffentliche Wahrnehmung und „Sichtbarkeit“²⁶ der Werkstoffe in Deutschland entspricht keineswegs ihrer tatsächlichen Bedeutung.²⁷ Werkstoffthemen sind in Lehrplänen zu wenig berücksichtigt, die „Stimme“ der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Wirtschaft und Politik ist zu schwach. Dies ist problematisch hinsichtlich so verschiedener Felder wie der Forschungsförderung und der Studien- und Berufswahl junger Menschen. Nach Auffassung zahlreicher Experten verschärft sich die Unterbewertung durch Fehleinschätzungen infolge mangelnden Wissens beispielsweise hinsichtlich der Umweltbedenklichkeit oder Toxizität von Werkstoffen sowie infolge des Auftretens von Modebegriffen wie „Nano“ und „Bio“, die – losgelöst von jeglicher praktischen Anwendbarkeit – das Bild der Werkstoffe und Werkstofftechnologien im Allgemeinen verfälschen.

> acatech empfiehlt

– Ausbau der Öffentlichkeitsarbeit

Um die Wahrnehmung innerhalb der Öffentlichkeit für das Potenzial der Werkstoffe sowie für die Relevanz der Werkstofftechnologien und deren Beitrag zum technologischen Fortschritt zu schärfen, sollte die Öffentlichkeits- und Aufklärungsarbeit auf allen Ebenen von Wissenschaft und Wirtschaft kontinuierlich fortgeführt und ausgebaut werden.

Initiativen wie PlasticsEurope²⁸, techportal²⁹, das Stahl-Informationszentrum³⁰ und andere haben in den letzten Jahren aufgezeigt, wie eine öffentliche Nutzendiskussion auf inspirierende und zugleich wirksame Art geführt werden kann und Bedenken ausgeräumt werden können. Mit originellen Ansätzen nach dem Vorbild von „Intel Inside“ können es auch Werkstoffhersteller schaffen, den Werkstoffen eine eigene Identität zu verleihen.³¹ Es bedarf freilich großer Beharrlichkeit, um den notwendigen Wandel in der öffentlichen Wahrnehmung zu erzielen.

19 Vgl. Höcker 2008, S. 9; Rühle et al. 2001, S. 11; BMBF 2006, S. 95; BDI 2008, S. 184-186.

20 Werkstofftechnologie wird hier verstanden als die Lehre von der Erzeugung der Werkstoffe und ihrer Verarbeitung zu Halb- und Fertigprodukten sowie wichtiger Behandlungsverfahren zum Erzielen bestimmter Eigenschaften (vgl. Ruge und Wohlfahrt 2007).

21 Vgl. Bremer/Scheibner 2007, S. 16.

22 Vgl. BMBF 2006, S. 95.

23 In diesem Zusammenhang sind auch die besonderen Entwicklungsmöglichkeiten hinsichtlich der Kreislaufwirtschaft der Werkstoffe zu nennen, vgl. BMBF 2006, S. 95 ff.

24 Vgl. u. a. Boston Consulting Group 2006, S. 59 ff.; BMBF 2006, S. 95; Höcker 2008, S. 9 f.

25 Vgl. BMBF 2006, S. 95.

26 Design, Marke und Funktionalität stehen in der Kundenwahrnehmung häufig im Vordergrund. Meist wird dabei verkannt, dass gerade die Werkstoffe oder Werkstofftechnologien das Produktdesign wesentlich prägen und dem Produkt seine spezifischen und einzigartigen Eigenschaften verleihen. In anderen Worten: Die Öffentlichkeit realisiert nur selten die unlösliche Verbindung zwischen Produkt und Werkstoff und unterschätzt die Bedeutung der Werkstoffe (vgl. Höcker 2008, S. 9).

27 Vgl. Höcker 2008, S. 9 f.

28 <http://www.plasticseurope.org>.

29 <http://www.techportal.de>.

30 <http://www.stahl-info.de>.

31 Vgl. Heiker 2008, S. 14.

4 DIE KETTE „VOM MATERIAL ZUM PRODUKT“

– Stärkung der Identität

Um die Identität der Werkstoffe zu stärken, sollte die Begriffskombination „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ generell als übergeordneter Begriff mit Markencharakter verwendet werden, insbesondere bei der Bezeichnung von Studiengängen, in der Forschung und Forschungsförderung.

Die Stärkung der gemeinsamen Identität der Branche und des Wissenschaftsfeldes ist auch eine Frage der gezielten Verbandsarbeit. Unter anderem mit diesem Auftrag betraut ist die Bundesvereinigung MatWerk, die dem zergliederten Wissenschaftsfeld eine einheitliche Identität bieten möchte (siehe Kasten).³²

> Die Bundesvereinigung MatWerk

Als Zusammenschluss der technisch-wissenschaftlichen Fachverbände und -vereine auf dem Gebiet der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik wurde die „Bundesvereinigung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik – BV MatWerk“ am 22. Oktober 2007 gegründet.³³ Der essentiellen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedeutung der Werkstoffe und Werkstofftechnologien in Deutschland durch eine bessere Abstimmung der vielfältigen Aktivitäten Rechnung zu tragen, kennzeichnet den Gründungsgedanken von BV MatWerk; diese Bestrebung prägt auch weiterhin das Leitbild des neuen Dachverbandes.

Als integrierende Initiative verfolgt BV MatWerk das Ziel, die gemeinsamen Interessen der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu bündeln sowie die Kooperation unter den Fachverbänden zu fördern. In Abstimmung mit seinen Mitgliedsorganisationen richtet BV MatWerk seine Aktivitäten auf folgende Arbeitsfelder aus:

- Aufzeigen des Forschungsbedarfs im Dialog mit Wirtschaft und Gesellschaft,
- Koordination von wissenschaftlichen Prozessen,
- Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses,
- Pflegen der internationalen Zusammenarbeit.³⁴

4.1 DER WEG VON DER MATERIALFORSCHUNG ZUR PRODUKTINNOVATION

Die Kette „Vom Material zum Produkt“ umfasst alle Stufen der Werkstoffentwicklung und der Wertschöpfungskette, die erforderlich sind, um materialwissenschaftliche Erkenntnisse in werkstoffbasierte Produktinnovationen zu überführen. Sie bringt damit einerseits den „Brückenschlag“ zwischen den Systemen Werkstoff und Produkt, aber auch die Verbindung zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zum Ausdruck.

Es ist offensichtlich, dass sowohl die Gestalt als auch die Ausprägungen solcher Ketten zahlreichen Einflüssen unterliegen, allen voran Einflüssen des Werkstoffs, der Anwendung, der Branche und der jeweiligen Entwicklungsprojekte. In relevanten Quellen spiegelt sich dies in einer Vielfalt möglicher Beschreibungsansätze wider, und das zugrunde gelegte Verständnis ist abhängig von dem befragten Expertenkreis verschieden.³⁵ Die Unterschiede beziehen sich auf die relevanten Systemgrenzen (beispielsweise hinsichtlich des Einflussbereichs von Werkstoff- und Produktionstechnik), die zudem durch die Sichtweise des Betrachters geprägt werden.

Die der Erarbeitung dieses Papiers zugrunde gelegte Betrachtungsweise folgt den Stufen des Wissensflusses, d. h. von der Erforschung der Materialsynthese und Materialstrukturen über die Exploration der Materialeigenschaften, die Werkstofftechnik (d. h. unter anderem Werkstoffherstellung, Formgebungs-, Füge- und Beschichtungsverfahren) bis hin zur Produktentwicklung und -herstellung (d. h. unter anderem Produktdesign, Produktentwicklung, Fertigungs- und Montagetechnologien).³⁶ Das Hervorbringen werkstoffbasierter Produktinnovationen erfordert demnach das Zusammenspiel verschiedenster Fachexperten (z. B. Chemiker und Physiker, Materialforscher, Werkstofftechniker, Werkstoffhersteller, Fertigungsingenieure, Produktdesigner). Diese Sichtweise zeigt die Heterogenität der beteiligten Wissensträger, Disziplinen und Kompetenzen sowie die notwendige Interdisziplinarität.

Die Betrachtung gemäß dem Wissensfluss kann jedoch kaum losgelöst von einer Sichtweise erfolgen, die sich stärker an den physischen Wertschöpfungsstufen orientiert: Ausgehend von der Gewinnung der Rohstoffe, über verschiedene Herstellungs- und

Syntheseprozesse, über die Analyse, Charakterisierung und Zulassung, über Schritte der Verarbeitung und Kombination umfassen die physischen Wertschöpfungsstufen alle Schritte bis hin zur System- oder Produktintegration und Einsatzerprobung. Bei einer lebenszyklusorientierten Betrachtung setzt sich diese Kette sogar bis zur Weiterverwertung und Entsorgung fort. Querschnittsprozesse wie die Standardisierung, Normung oder die Simulation begleiten alle genannten Schritte. Diese wertschöpfungsbezogene Perspektive betont vor allem die Vielfalt der erforderlichen Prozessschritte.

Entwicklungsprojekte, die die gesamte Kette vom Material zum Produkt abdecken, unterliegen somit nicht nur den genannten Einflüssen, sondern sind typischerweise auch durch die Heterogenität der beteiligten Wissensträger sowie die hohe Vielfalt der Prozessschritte geprägt. Somit sind Entwicklungsprojekte, die entweder durch neue Werkstoffe getrieben werden oder die Werkstoffentwicklungen erfordern, gemeinhin durch die folgenden charakteristischen Merkmale gekennzeichnet:

> Hohe Komplexität und Interdisziplinarität

Die „Kette vom Material zum Produkt“ ist nicht nur durch zahlreiche Prozessschritte, sondern auch durch ein hohes und weiter ansteigendes Maß an Wechselwirkungen geprägt.³⁷ Entlang der gesamten Kette bestehen diese sowohl in Richtung der Wertschöpfung (etwa der Transfer von Erkenntnissen, Ergebnissen und Erzeugnissen) als auch in entgegengesetzter Richtung (etwa die Rückführung von Anforderungen an vorgelagerte Prozessschritte). Auswirkung und zugleich Treiber der Komplexität ist eine hohe Interdisziplinarität des Prozesses; entscheidend ist nicht nur das Zusammenspiel zwischen den verschiedenen Fachrichtungen innerhalb der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, sondern auch mit angrenzenden Disziplinen wie der Fertigungstechnik. Denn jeder Abschnitt der Prozesskette ändert die Mikrostruktur und damit das Eigenschaftsspektrum der Werkstoffe in Abhängigkeit von der verwendeten Prozesstechnik. So bestimmt die Kombination aus Werkstoff- und Produktionstechnik nicht nur die Eigenschaften des Endprodukts oder des Systems, sondern auch relevante Prozessparameter wie die Durchlaufzeit oder den Ressourcenverbrauch.³⁸

³² Vgl. Gottstein 2008, S. 42.

³³ Vgl. Portella 2008, S. 22.

³⁴ Vgl. <http://www.matwerk.de/BVMatWerk/Leitbild.aspx>.

³⁵ Vgl. u. a. Kopp 2008, S. 25 ff.; Gottstein 2008, S. 45; Winnacker 2008, S. 48; Forschungsunion 2008, S. 8 f.; VDI Technologiezentrum 2008, S. 42 ff.; BMBF-WING 2004, S. 5.

³⁶ Vgl. Höcker 2008, S. 9.

³⁷ Beispielsweise werden zur Ermittlung der Stoff- und Randgrößen Forschungsinstitute auch zunehmend in industrielle Entwicklungsprozesse eingebunden.

³⁸ Vgl. Kopp 2008, S. 25 ff.; Gottstein 2008, S. 45.

> Geringer vertikaler Integrationsgrad

Werkstoff-, Produktentwicklung und Produktherstellung bilden vielfach keine geschlossenen Prozessketten. Diese sind zum einen durch „fehlende“ Wertschöpfungsstufen gekennzeichnet, die u. a. auf die Abwanderung von Wertschöpfungsstufen in andere Länder zurückzuführen sind; insbesondere Rohstoffe werden fast ausnahmslos aus dem Ausland bezogen. Darüber hinaus werden die verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette in vielen Fällen durch unterschiedliche Hersteller abgedeckt. Die derzeitige Situation in Deutschland steht damit teilweise im Gegensatz zu der Situation in einigen anderen Ländern wie beispielsweise den USA oder Japan.³⁹ Aus finanzieller Sicht hat diese Trennung für die Materialentwicklung und -herstellung einen entscheidenden Nachteil: Vielfach partizipiert der eigentliche Werkstoffhersteller trotz hoher FuE-Ausgaben nur geringfügig an der späteren Wertschöpfung des Bauteils bzw. Systems, zumal der Markt insbesondere bei Funktionswerkstoffen nur geringe Werkstoffmengen benötigt.

> Langfristiger Charakter der Werkstoffentwicklung

Die erforderliche Dauer für Werkstoffentwicklungen überschreitet typischerweise die von Produktentwicklungen sowie von Prozessentwicklungen. Bei der Entwicklung von Werkstoffen mit maßgeschneiderten Anforderungen zum Einsatz in speziellen Produkten oder Systemen bedarf es also einer oft langen forschungsorientierten Vorlaufzeit ohne Erfolgsgarantie, die die Planung eines Entwicklungsprojektes erschwert.

> „Scale-up“

Eine typische Herausforderung aller Werkstoffentwicklungsprozesse ist das sog. Scale-up; dieser Begriff wird beispielsweise auch in der Verfahrenstechnik verwendet und bezeichnet die Maßstabsvergrößerung zur Überführung von Herstellprozessen von der Labor- oder Modellebene auf den Anwendungsmaßstab.

Eine stufenlose, kostenoptimale Skalierbarkeit ist im Bereich der Werkstoffe allerdings oft nicht möglich. So können sich die Eigenschaften beim Übergang von der Versuchsschmelze zum Bauteil verändern. Gerade sehr investitionsintensive Apparate und Anlagen, wie sie in der Materialentwicklung und Werkstoffherstellung oft erforderlich sind, sind meist nicht skalierbar, d. h., ihr Einsatz ist erst ab einer bestimmten, meist hohen kritischen Menge rentabel.⁴⁰

4.2 DERZEITIGE LÜCKEN IN DER KETTE „VOM MATERIAL ZUM PRODUKT“

Die Beschreibung der Merkmale deutet bereits darauf hin, dass eine Reihe von Faktoren die Umsetzung von Ergebnissen aus der Materialforschung in Produktinnovationen verzögern, den Aufwand der Forschungs- und Entwicklungsprojekte in die Höhe treiben oder die Entwicklung und den Einsatz neuer Werkstoffe sogar verhindern.⁴¹

Der überwiegende Teil der Hindernisse bezieht sich auf Schwierigkeiten in der Kommunikation, Interaktion und Kooperation zwischen den Prozessbeteiligten unterschiedlicher Fachrichtungen und ist damit unmittelbar im Zusammenhang mit der prozessimmanenten Komplexität und Interdisziplinarität zu sehen.

Der Technologie-Transfer wird einerseits durch Hürden, die auf geistiges Eigentum bezogen sind (z. B. Angst vor Wissensverlust), beeinträchtigt, aber auch durch organisatorische Hürden erschwert (z. B. fehlende Ansprechpartner im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik). Die weitaus größten Hemmnisse sind jedoch kommunikativer bzw. fachlicher Art. Wie sich dieses Problem in den Befragungsergebnissen äußert, zeigen folgende Beispiele:

- Aus der Produkt-/Marktsicht wird eine fehlende Produktorientierung in frühen Phasen der Kette bemängelt, wie sie beispielsweise durch Präsentation von Materialideen (Marketingaktivitäten) erfolgen könnte. Aus Sicht der Material-

forschung hingegen werden Anforderungen aus System-sicht nicht mit einer hinreichenden Klarheit und Präzision formuliert. Einige Materialforscher beklagen sogar ein schwaches Industrieinteresse an Forschungsergebnissen und sehen darin die Ursache dafür, dass vielen Produktentwicklern oft nur ein kleiner Teil der (bereits vorhandenen) Materialien und Materialeigenschaften bekannt ist.⁴²

- Hinsichtlich der Fachkompetenz im Bereich der Materialforschung wird oft fehlendes Wissen über die Eigenschaftsbeeinflussung durch die Fertigung aus Sicht der Produktion bemängelt. Materialwissenschaftler und Werkstofftechniker hingegen sehen deutlichen Verbesserungsbedarf hinsichtlich der Materialkompetenz in der Produktentwicklung.

Bei der (vorwärtsgerichteten) Überführung von Ergebnissen aus der Materialforschung behindern auch technische Restriktionen beispielsweise inkompatible Datenformate den reibungslosen Wissenstransfer. Im Vordergrund steht jedoch das fehlende Bewusstsein über den erforderlichen Aufwand für das Scale-up. Dies äußert sich vor allem in unzureichenden Mitteln und fehlenden Fördermöglichkeiten für die Prototypphase, in der die „Maßstabsvergrößerung“ vornehmlich vollzogen wird.

Vielfach wird die erforderliche Gesamtprozessdauer für die Umsetzung von neuen Werkstoffen in Produkte zudem unterschätzt. Dies resultiert aus den ohnehin langen Entwicklungszeiten für Werkstoffe mit maßgeschneiderten Eigenschaften, die auch Zulassungs-, Prüf- und Genehmigungsverfahren erfordern. Neben der eigentlichen Werkstoffentwicklung sind darüber hinaus weitere Werkstofftechnologien wichtiger Bestandteil fast aller Entwicklungsprojekte, so etwa die Integration der neuentwickelten Einzelwerkstoffe in Werkstoffverbunde oder die Bewertung der Eigenschaftsbeeinflussung durch die Bearbeitung. Zeitbedingte Probleme erwachsen auch aus der Länge der Werkstoffentwicklung in Relation zur Produktentwicklung, die die Planung und Synchronisation erschwert, die Entwicklung neuer Werkstoffe verhindert oder zum Teil sogar zum Rückgriff auf altbekannte Werkstoffe führt.⁴³

Neben den Problemen der interdisziplinären Zusammenarbeit gilt die Rückführung der Anforderungen von der Systemebene oder den Kunden an die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik als stark verbesserungsbedürftig. Die fehlende Kenntnis der Kundenanforderungen ist einerseits ein Vermittlungsproblem; andererseits ist sie aber auch eine Folge der mangelnden Wahrnehmung der Bedeutung der Werkstoffe durch die Endkunden, die Anforderungen an Werkstoffe in der Regel nicht direkt formulieren. Die mangelnde Verfügbarkeit technischer und akademischer Fachkräfte, hoher Investitionsbedarf sowie wirtschaftliche Risiken beeinflussen zudem die Effizienz und Geschwindigkeit entlang der gesamten Kette vom Material zum Produkt. Diese bilden nach einer Analyse des VDI Technologiezentrums mitunter die wichtigsten branchenübergreifenden Innovationshemmnisse.⁴⁴

4.3 ANSÄTZE ZUR ÜBERWINDUNG DER LÜCKEN IN DER KETTE „VOM MATERIAL ZUM PRODUKT“

In der Praxis sind meist nicht einzelne Hindernisse maßgeblich für Prozessverzögerungen in der Werkstoffentwicklungs- und -umsetzungskette. Zur wirkungsvollen Prozessoptimierung sind daher in der Regel Maßnahmenbündel notwendig.⁴⁵ Im Folgenden sind Empfehlungen genannt, die die übergreifende Zusammenarbeit unmittelbar betreffen. Weitere relevante Empfehlungen finden sich in den Abschnitten zu Lehre, Forschung und Forschungsförderung. Hier gibt es klar benennbare Punkte, die für die Lücken ursächlich sind.

39 Vgl. Winnacker 2008, S. 48 f.; BMBF-WING 2004, S. 5.

40 Vgl. Kopp 2008, S. 25.

41 Die nachfolgende Benennung solcher „Lücken“ beruht in erster Linie auf der Umfrage und den Interviews, die im Rahmen der Untersuchung zu diesem Positionspapier durchgeführt wurden. Ein Abgleich fand ebenso mit den branchenübergreifenden Ergebnissen der vom BMBF in Auftrag gegebenen Forschungsstudie „Innovationshemmnisse im Bereich Werkstoffforschung und -entwicklung“ statt (VDI Technologiezentrum 2008).

42 Vgl. Höcker 2008, S. 89.

43 Vgl. VDI-Technologiezentrum 2008.

44 Vgl. VDI-Technologiezentrum 2008.

45 Die Analyse des VDI Technologiezentrums zeigt zudem, dass es zahlreiche Hemmnisse gibt, die spezifisch für die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sind. Sie zeigt aber auch, dass die Relevanz einzelner Hemmnisse einem Brancheneinfluss unterliegt. Für branchenspezifische Maßnahmen in den Bereichen Automotive, Verkehr, Chemie/Werkstoffe, sowie Medizintechnik/Gesundheit sei daher auf die Analyse des VDI Technologiezentrums verwiesen (VDI Technologiezentrum 2008).

> acatech empfiehlt

– Intensivierung von Kooperation und Vernetzung
Der Wissenstransfer entlang der gesamten Kette „Vom Material zum Produkt“ sollte durch eine stärkere Vernetzung und Kooperation gefördert werden, und zwar auf verschiedenen Ebenen (z. B. projekt-, personen- oder verbandsbezogen) und in verschiedenen Formen (z. B. langfristige Netzwerke für Wissensaustausch, temporäre themen- oder projektbezogene Strukturen).

Diese Forderung umfasst zudem technologiegetriebene FuE-Plattformen für (horizontale) Querschnittsthemen und vor allem auch vertikale, anwendungsgetriebene Vernetzungen (z. B. durch produktfokussierte Entwicklungsallianzen).⁴⁶ Insbesondere langfristigen Kooperationen zwischen Universitäten und Unternehmen, wie beispielsweise in Public-Private-Partnerships, wird erhebliches Potenzial beigemessen, zumal wenn Projekte zur Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses integriert werden.⁴⁷

– Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft
Der Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft geschieht maßgeblich „über Köpfe“; dem sollte auch in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik stärker Rechnung getragen werden. Daher sollten die Möglichkeiten des direkten Erkenntnisaustauschs zwischen Forschern an den Hochschulen und Universitäten und in industriellen FuE-Abteilungen vor allem durch neue Förderinstrumente gestärkt und erweitert werden.⁴⁸

– Integrierte Planung von Produkten und (Werkstoff-)Technologien
Die integrierte Planung von Produkten und (Werkstoff-)Technologien sollte verstärkt werden.

Ziel wäre hier, durch den Einsatz von systematischen Planungsinstrumenten oder -hilfsmitteln (wie beispielsweise Roadmaps) die Entwicklung von Produkten und (Werkstoff-)Technologien aufeinander abzustimmen oder sogar zu synchronisieren. Die Notwendigkeit erwächst dabei vor allem aus den großen Unterschieden in den erforderlichen Entwicklungsdauern für Produkte

und Werkstoffe bzw. Werkstofftechnologien. Zudem sollten Synergieeffekte besser genutzt werden.⁴⁹ Roadmaps können dabei sowohl unternehmensintern genutzt werden, oder (als weitgehend lösungsunabhängige Kommunikationsmittel) den Austausch zwischen verschiedenen Organisationen im Innovationsprozess fördern und unterstützen (z. B. zwischen Werkstoffentwickler und Systemhersteller).

5 LEHRE UND STUDIUM

5.1 DIE LEHRE IN DER MATERIALWISSENSCHAFT UND WERKSTOFFTECHNIK IN DEUTSCHLAND

Die Studienlandschaft der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik ist ausgesprochen heterogen, was der Entwicklungshistorie der materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Studiengänge zuzuschreiben ist. Diese haben sich sowohl aus „rein“ werkstofforientierten Studiengängen als auch aus Studiengängen der Natur- oder Ingenieurwissenschaften gebildet. Aufgrund der kontinuierlich steigenden Bedeutung der Werkstoffe und Anforderungen der Industrie an das material- und werkstoffbezogene Know-how der Absolventen wurden materialwissenschaftliche und werkstofftechnische Inhalte verstärkt in die Lehrpläne der Natur- oder Ingenieurwissenschaften integriert und letztlich eigene Studiengänge wie beispielsweise zu Anorganisch-Nichtmetallischen Werkstoffen oder Kunststofftechnik gebildet. Diese haben sich aus so unterschiedlichen Studienrichtungen wie Hüttenkunde, Werkstoffkunde im Maschinenbau oder der Festkörperphysik entwickelt. Diese parallele Entwicklung der „rein“ materialwissenschaftlichen auf der einen und der ingenieurwissenschaftlichen und naturwissenschaftlichen Studiengänge auf der anderen Seite hat aufgrund der unterschiedlichen Ausrichtung und Anforderungen dieser wissenschaftlichen Disziplinen die Heterogenität der Studiengänge mit materialwissenschaftlichen Inhalten hervorgebracht.⁵⁰ Die wesentlichen Folgen für die Lehre der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland sind eine intransparente Studienlandschaft, eine zu geringe inhaltliche Abstimmung der Themen der Lehre untereinander und eine fehlende gemeinsame Sichtbarkeit der Studiengänge und auch der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik im Allgemeinen.⁵¹ So waren die Studiengänge der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Ermangelung eines gemeinsamen Namens und Auftretens bislang nicht in Rankings vertreten.

Wie die meisten ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge sind auch die der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik durch lange Studiendauern, hohe Abbrecherquoten, einen geringen Anteil weiblicher Studierender und vor allem durch deutlich zu

niedrige Studierendenzahlen gekennzeichnet: Von insgesamt 295.091 Studienanfängern in Deutschland, die im Wintersemester 2006/07 ein Studium aufgenommen haben, entschieden sich nur 1 Prozent (2.862) für einen explizit materialwissenschaftlichen bzw. werkstofftechnischen Studiengang.⁵² Obwohl in den letzten Jahren Anzeichen einer positiven Entwicklung im Sinne einer leichten aber stetigen Erhöhung der Studienanfängerzahlen im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu verzeichnen sind, bewegen sich die Absolventenzahlen nach wie vor auf sehr niedrigem Niveau, welches sich hemmend auf die Forschungsleistungen sowie auf Industrie und Wirtschaft auswirkt.

Die beiden großen Herausforderungen, d. h. die inhomogene Studienlandschaft und der Nachwuchsmangel, wurden im Ausland ebenfalls erkannt, und es wurden bereits Maßnahmen entwickelt und umgesetzt: In den USA wurden unter dem Begriff „Materials Science and Engineering“ Studiengänge mit einer vergleichsweise starken Identität etabliert.⁵³ In Großbritannien ist mit dem UK Centre for Materials Education (UKCME) eine erfolgreiche Initiative zur Vereinheitlichung der Studienlandschaft und zur Nachwuchsgewinnung gestartet, die in einigen Aspekten auch als Vorbild für Deutschland dienen kann.⁵⁴

Um den genannten Herausforderungen zu begegnen, wurde in Deutschland als zentrale Instanz der „Studientag Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ gegründet, der den Fakultätentagen anderer Fachrichtungen entspricht. Um die gemeinsame Identität des Wissenschaftsfeldes zu stärken und die öffentliche Wahrnehmung der Studiengänge zu verbessern, wurde hier entschieden, in Zukunft die gemeinsame Bezeichnung „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ einzuführen. Diese soll die Breite umschließen, auch in der Öffentlichkeit verstanden und positiv besetzt werden.⁵⁵

Die Beschäftigung mit Fragen der Lehre darf freilich nicht einseitig zugunsten der universitären Ausbildung erfolgen; es müssen gleichermaßen auch die Ausbildungsberufe und die berufliche Weiterbildung berücksichtigt werden. Bislang führt in beiden

⁴⁶ Vgl. Forschungsunion 2008, S. 19.

⁴⁷ Vgl. Kopp 2008, S. 38.

⁴⁸ Neben der Förderung von Kooperationen (beispielsweise durch sogenannte Transferprojekte der DFG) sollte dabei die Förderung von Ausgründungen genutzt werden, vgl. Kleiner 2006.

⁴⁹ Solche Synergieeffekte können entstehen durch das Zusammenführen und Abgleichen von produktseitigen Innovationen (bedarfsgesteuerte Werkstoffentwicklung) und bereits realisierten (oder antizipierten) werkstoffseitigen Leistungsfähigkeiten.

⁵⁰ Vgl. Gottstein 2008, S. 39 f.

⁵¹ Vgl. die Website Studientag Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, <http://www.matwerk.de>.

⁵² Infolge eines fehlenden eigenen Studiengangsschlüssels liegen der Analyse die Studienanfängerzahlen folgender Studiengänge zugrunde: Werkstoffwissenschaften, Glastechnik/Keramik, Holz-/Fasertechnik, Kunststofftechnik, Metalltechnik, Textil- und Bekleidungstechnik, Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik, vgl. Statistisches Bundesamt Deutschland, <http://www.destatis.de>.

⁵³ Vgl. Gottstein 2008, S. 40.

⁵⁴ Vgl. die Website UK Centre for Materials Education (UKCME), <http://www.materials.ac.uk>.

⁵⁵ Vgl. Gottstein 2008, S. 42.

Bereichen ein Mangel an aktuellen Lehrinhalten und Personal insbesondere für interdisziplinäre Bildungsthemen zu einem hohen Zeitverlust im Transfer des in der Forschung und Entwicklung gewonnenen Know-hows in den „industriellen Alltag“.⁵⁶

5.2 ANSÄTZE ZUR BEHEBUNG DES NACHWUCHSMANGELS IN DER MATERIALWISSENSCHAFT UND WERKSTOFFTECHNIK

Die zu geringen Studierendenzahlen und der damit verbundene Nachwuchsmangel in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik wurden sowohl von der Industrie als auch von der Forschung als wesentliches Kernproblem identifiziert. Die Ursachen sind einerseits zu suchen in mangelhafter Information der Studieninteressenten (vgl. dazu auch Abschnitt 3.3). Andererseits ist der Nachwuchsmangel auf die bereits geschilderte Heterogenität und Intransparenz der materialwissenschaftlichen/werkstofftechnischen Studienlandschaft zurückzuführen. Schließlich liegt eine Ursache in der mangelnden Integration relevanter Inhalte aus Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in anderen Studiengängen.

> Aufklärung der Studieninteressenten

Um die Nachfrage nach Studienplätzen im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu erhöhen, sind daher Maßnahmen zur Verbesserung der Wahrnehmung der Studiengänge bei potenziellen Studierenden und gegen den zu geringen Informationsstand über Inhalte und Karrierechancen zu ergreifen.⁵⁷ Wahrnehmung und Wissensstand können nur durch eine verstärkte Aufklärungs- und Öffentlichkeitsarbeit, sowohl für Materialien und Werkstoffe im Allgemeinen als auch für die dazugehörigen Studiengänge im Besonderen, verbessert werden.

Um ein umfassendes Berufsimagen aufzubauen, dieses nachhaltig zu stärken und um Initiativen und Maßnahmen zur Werbung von Studieninteressenten untereinander abzustimmen, ist eine enge Zusammenarbeit der Universitäten, Unternehmen und Verbände erforderlich. Nur so kann eine ausreichende Differenzierung im

Vergleich zu konkurrierenden Studiengängen erreicht werden.⁵⁸ Das Interesse der Öffentlichkeit und insbesondere potenzieller Studierender sollte bereits in der Schule durch eine Integration von materialwissenschaftlichen Themen in den Lehrplan und zusätzlich durch breitenwirksame Aktionen wie die Wissenschaftsjahre des BMBF geweckt werden.⁵⁹

Wie die Technische Universität Bergakademie Freiberg in dem durch die DFG geförderten Projekt „Marketingkonzept zur Erhöhung der Attraktivität eines Ingenieurstudiums“ nachgewiesen hat, nimmt das Image des Studiums und des Berufs bei der Studienwahl in allen Phasen der Entscheidungsfindung eine zentrale Rolle ein.⁶⁰ Die Autoren des White Book schreiben die geringe Beliebtheit der Natur- und Ingenieurwissenschaften bei Studienanfängern vor allem den vergleichsweise geringen Verdienstmöglichkeiten und der geringen gesellschaftlichen Anerkennung für Wissenschaftler (beispielsweise im Vergleich mit Ärzten oder Juristen) zu.⁶¹ Dass den Absolventen der Studiengänge der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zahlreiche, äußerst attraktive Karrieremöglichkeiten offen stehen, ist dem Großteil der Studieninteressenten nicht bekannt.

> Vereinheitlichung der Studienlandschaft

Eine Vereinheitlichung der Studienlandschaft sollte die Transparenz des Studienangebotes und der Wahlmöglichkeiten der Studierenden verbessern. Dazu sollte für die materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Studiengänge ein allgemein verbindliches Kern-Curriculum definiert werden. Die Ausgestaltung und Schwerpunktbildung sollte dann entsprechend den Schwerpunkten der betreffenden Hochschule erfolgen.

Erste Maßnahmen zur Vereinheitlichung des Studienangebotes in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland hat der Studientag bereits ergriffen. Seine Aufgabe ist es, in Zusammenarbeit mit Öffentlichkeit, Politik, Forschungsorganisationen und der Industrie wie auch Institutionen auf nationaler und internationaler Ebene die Ausbildung an den Universitäten und die von der Forschung resp. der Industrie erwarteten

Kenntnisse der Absolventen abzugleichen. Ziel ist es weiterhin, Transparenz zu schaffen und die akademischen Profile der einzelnen Ausbildungsgänge weiter zu entwickeln, indem inhaltliche und quantitative Mindestanforderungen definiert und Empfehlungen in grundsätzlichen Fragen der Lehre abgegeben werden. Der Studientag analysiert und dokumentiert zunächst den Bestand an Studiengängen im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik an Hochschulen in Deutschland und hat sich zum Ziel gesetzt, eine Profilbildung der Disziplin Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu unterstützen.⁶²

> acatech empfiehlt

– Strukturierung und Information

Durch eine bessere Strukturierung der Studiengänge und Beratung der Studierenden muss sichergestellt werden, dass die Studierenden vollumfänglich von den existierenden Lehrangeboten profitieren und ihren Studienverlauf in optimaler Weise an ihre persönlichen Neigungen und Fähigkeiten anpassen, aber auch die späteren Perspektiven und Karrieremöglichkeiten erkennen und planen können.⁶³ Um auch den potenziellen Studierenden die Karrieremöglichkeiten aufzuzeigen sowie um Vorurteile (wie die geringeren Verdienstmöglichkeiten und das geringere gesellschaftliche Ansehen) zu überwinden, sollte die Information der Studieninteressenten und Studierenden zu diesen Themen intensiviert werden.

5.3 ANSÄTZE ZUR SICHERUNG EINES EXZELLENTE AUSBILDUNGSNIVEAUS

Trotz der vergleichsweise geringen Studierendenzahlen sind die Standards der deutschen universitären Ausbildung im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik im internationalen Vergleich gut. Dies zeigt sich u. a. an der relativ hohen Anzahl ausländischer Studierender, die einen materialwissenschaftlichen oder werkstofftechnischen Studiengang in Deutschland wählen.⁶⁴

Um das hohe Niveau beizubehalten, sind jedoch ständige Anpassungen und Verbesserungen der Inhalte und der Didaktik erforderlich.

> acatech empfiehlt

– Produktorientierung der Studiengänge

Eine wesentliche Maßnahme zur Sicherung eines exzellenten Ausbildungsniveaus ist eine stärkere Produktorientierung der materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Studiengänge im Sinne der Integration des Konzepts der Kette „Vom Material zum Produkt“ in die Ausbildung, wobei besonders der Einfluss der verschiedenen Stufen der Prozesskette auf die Materialeigenschaften zu betonen ist.

Didaktisches Ziel dabei ist es, den Studierenden auch den dem Fertigungsprozess entgegen gesetzten Rückschluss vom Produkt über die Prozesskette zum Material zu vermitteln, um die Notwendigkeit einer klaren Definition von Anforderungen an den Werkstoff zu erkennen.⁶⁵

– Stärkung des interdisziplinären Denkens und Arbeitens

Interdisziplinäres Denken und Arbeiten sollte auch in der Ausbildung weiter verstärkt werden. Dazu müssen die Fachausbildungen in den Disziplinen durch fächerübergreifende Inhalte ergänzt werden, die zur Verbesserung von Kommunikation und Interaktion entlang der gesamten Prozesskette beitragen. Dies bedeutet nicht, dass eine breitere Ausbildung zulasten des Fachwissens zu bevorzugen ist, sondern lediglich dass eine Konfrontation mit der Denkweise der jeweils anderen Bereiche und Disziplinen erforderlich ist.⁶⁶

Aufgrund der entscheidenden Stellung der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in der Kette vom Material zum fertigen Produkt nehmen Materialwissenschaftler und Werkstofftechniker immer häufiger Aufgaben wahr, die eine funktionierende Zusammenarbeit quer über zahlreiche Fachbereiche voraussetzen. Daher müssen bereits in der Lehre Fähigkeiten zu interdisziplinärem Arbeiten entwickelt werden. Dies ist auf einem der drei folgenden Wege möglich:

56 Vgl. Forschungsunion 2008, S. 25.

57 Vgl. Max-Planck-Gesellschaft 2004, S. 14.

58 Vgl. Enke et al. 2007, S. 34 ff.

59 Vgl. BMBF-WING 2004, S. 13.

60 Vgl. Enke et al. 2007.

61 Vgl. Max-Planck-Gesellschaft 2004, S. 276.

62 Vgl. die Website Studientag Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, <http://www.matwerk.de>.

63 Vgl. Max-Planck-Gesellschaft 2004, S. 14.

64 Vgl. Kopp 2008, S. 37.

65 Vgl. Höcker 2008, S. 90.

66 Vgl. Kopp 2008, S. 26; Gottstein 2008, S. 45; Weber 2008, S. 57.

- Eine bereits heute an zahlreichen Universitäten verbreitete Stoßrichtung ist die Etablierung interdisziplinärer, studienrichtungsübergreifender Studiengänge in eigenständiger Form. Eine vielversprechende Erweiterung dieses Ansatzes, für die auch der Studientag Materialwissenschaft und Werkstofftechnik plädiert, stellt die Einführung von Masterstudiengängen nach der Art eines Werkstoffingenieurs, Werkstoffchemikers oder Materialphysikers dar, die es Absolventen mit einem Bachelor aus angrenzenden Fachgebieten ermöglichen, ihre Karriere hin zur Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu orientieren.
- Eine von zahlreichen Experten befürwortete Alternative stellt die stärkere Integration der Themen der Material- und Werkstoffwissenschaft in andere, bereits bestehende Studiengänge dar. Es ist anzustreben, dass Themen der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in alle Fächer integriert werden, die mit der Produktentstehung und -entwicklung befasst sind, z. B. Konstruktionslehre, Fertigungstechnik, Mechanik sowie anwendungsorientierte Fächer wie Automobiltechnik, Luft- und Raumfahrt, Mechatronik, Biotechnologie, Medizintechnik. Die Möglichkeiten reichen hier von einzelnen, fokussierten Lehrveranstaltungen bis hin zur Einrichtung eigener Vertiefungsrichtungen für geeignete Studiengänge. Die Maßnahme gewährleistet vor allem, dass Ingenieure von morgen lernen, mit den Materialien von morgen zu arbeiten. Zudem würde dadurch trotz geringer Studierendenzahlen in den Kernfächern eine gezielte Verbreitung materialwissenschaftlicher Kenntnisse erreicht werden.⁶⁷ Die Vielfalt der Ausbildung in Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sollte jedenfalls erhalten bleiben: als eigener Studiengang oder als Vertiefungsrichtung beispielsweise im Maschinenbau, im Bauingenieurwesen, in der Physik. Dies geht zusammen mit einer Vereinheitlichung der Studienangebote, wenn die Studiengänge bzw. Vertiefungsrichtungen deutschlandweit einheitlich organisiert sind.
- Die dritte Alternative zur Erhöhung der interdisziplinären Kompetenz der Studierenden besteht darin, verstärkt Lehrinhalte aus angrenzenden Fachbereichen in die bestehenden Studiengänge der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu integrieren; angesichts bereits heute „überfrachteter“

Studienpläne scheint die Umsetzbarkeit dieser Maßnahme hingegen begrenzt.⁶⁸

Die Forderung nach einer stärkeren Interdisziplinarität in der materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Ausbildung muss allerdings insofern differenziert betrachtet werden, da den offensichtlichen Vorteilen die Gefahr einer ungewollten Oberflächlichkeit der Grundlagenausbildung gegenübersteht. Die Befähigung der Studierenden zur Bearbeitung vielfältiger Aufgabenstellungen kann nur durch eine möglichst breit gefasste Grundlagenausbildung mit hinreichender Tiefe in Kombination mit der Vermittlung der Fähigkeit zum konzeptionellen Denken, zum Erkennen von Zusammenhängen und zur Entwicklung von Problemlösungen erreicht werden.⁶⁹ Ein geeignetes Leitbild (Kern-Curriculum) könnte dabei die Vermittlung eines breiten Grundwissens in allen Werkstoffklassen und eines vertieften Fachwissens in mindestens einer Werkstoffgruppe darstellen. Ergänzt werden muss ein modernes Lehrangebot durch weiterführende Inhalte wie Projekt-, Wissens- und Innovationsmanagement (Methodenwissen) sowie betriebswirtschaftliche Grundkenntnisse und Sprachen.

- Bedarfsorientierung der Lehre

Auch in der außeruniversitären Aus- und Weiterbildung ist eine ständige bedarfsorientierte Weiterentwicklung der Lehrinhalte erforderlich. Diese sollte von allen Bildungsträgern, aufbauend auf einer branchen- und themenübergreifenden Analyse in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden.⁷⁰ Der Studientag Materialwissenschaft und Werkstofftechnik ist prädestiniert, diese Aufgabe übernehmen, und ist hier zu unterstützen.

Gute Bildungsangebote müssen nicht nur auf hochwertige Inhalte, sondern insbesondere auf hochqualifiziertes Lehrpersonal bauen. Bei der Optimierung der Lehre im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland ist die Gewinnung exzellenter Lehrkräfte ein zentrales Anliegen. Nur den besten Lehrkräften, die in der Industrie ausreichend Erfahrungen in der Herstellung und Anwendung von Werkstoffen gewonnen haben, kann es gelingen, den Studierenden ein Verständnis für die gesamte Kette vom Material zum Produkt zu vermitteln und sie mit unterschiedlichen Denkmustern zu konfrontieren. Das

steht im Widerspruch dazu, dass Universitäten in der Regel keine Praxistätigkeit als Basis für eine Hochschullehrer-Berufung verlangen. Doch nur so können die Studierenden lernen, die problemorientierte Denkweise der Naturwissenschaftler mit dem lösungsorientierten Ansatz der Ingenieure zu kombinieren, wie es die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik als Querschnittsdisziplin erfordert.⁷¹ Um für fähige Lehrkräfte attraktiv zu sein, müssen die deutschen Universitäten im weltweiten Vergleich führende Fakultäten und Institute auf dem Gebiet der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik aufbauen.⁷² Diese sollten bereits im Grundstudium in Ergänzung der klassischen Grundlagen wie Mathematik, Physik und Chemie auch Themen der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in eigenen Fächern lehren, um die materialwissenschaftliche Kompetenz zu entwickeln und die Motivation der Studierenden zu erhöhen.

67 Vgl. Winnacker 2008, S. 51 f.

68 Vgl. Winnacker 2008, S. 52.

69 Vgl. Gottstein 2008, S. 42 ff.

70 Vgl. Forschungsunion 2008, S. 11.

71 Vgl. Gottstein 2008, S. 45; Höcker 2008, S. 89 f.

72 Vgl. Max-Planck-Gesellschaft 2004, S.14.

6 FORSCHUNG

6.1 FORSCHUNG IM BEREICH DER MATERIALWISSENSCHAFT UND WERKSTOFFTECHNIK IN DEUTSCHLAND

Deutschland hat im internationalen Vergleich in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik vor allem hinsichtlich der grundlagenorientierten Forschung eine herausragende Stellung erlangt. Dies ist umso bemerkenswerter, als die staatlichen und industriellen FuE-Ausgaben einschlägigen Untersuchungen zufolge absolut sowie relativ zum Bruttoinlandsprodukt deutlich hinter denen anderer führender Forschungsnationen wie den USA und Japan rangieren. Einen Überblick gibt das European White Book der Max-Planck-Gesellschaft. Das White Book veranschaulicht die Unverzichtbarkeit einer breiten und fundierten theoretischen Basis, die nicht nur die Voraussetzung für Forschungs- und Entwicklungserfolge im anwendungs- oder produktnahen Bereich bildet, sondern auch wesentlichen Einfluss auf die Effizienz und Nachhaltigkeit bei der Umsetzung von Forschungsergebnissen hat.⁷³ Um auch in Zukunft eine solide Innovationsbasis in Deutschland zu sichern, gilt es daher – so auch die Forderung des Wissenschaftsrates in den Empfehlungen zur Interaktion von Wissenschaft und Wirtschaft – die Leistungsfähigkeit der grundlagenorientierten Forschung an Hochschulen und Forschungsinstitutionen langfristig zu steigern.⁷⁴

> Schnittstellenverluste

Obwohl die deutsche Forschung in den vergangenen Jahrzehnten ihre Stellung auf zahlreichen Feldern erfolgreich verteidigen konnte, werden infolge einer zu zögerlichen Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in Produkte in Deutschland immer wieder Vorsprünge im internationalen Wettbewerb verschenkt. Zahlreiche Beispiele aus den letzten Jahrzehnten wie auch aus der jüngsten Vergangenheit, die nicht nur durch lange Werkstoffentwicklungszeiten und ungenutzte Patente gekennzeichnet sind, sondern bis zum Verlust von Wertschöpfungsstufen in Deutschland und zum Aufbau neuer Branchen im Ausland auf der Grundlage deutscher Forschungsergebnisse reichen, verdeutlichen dieses anhaltende Problem der Materialwissenschaft.⁷⁵

Sie weisen darüber hinaus auf branchenübergreifenden Handlungsbedarf im Bereich des Wissenstransfers hin.⁷⁶ Diese Aufgabe fällt primär in den Bereich der angewandten bzw. produktorientierten Forschung, obwohl der zunehmende Trend zu einem fließenden Übergang zwischen der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung eine eindeutige Zuordnung verhindert.⁷⁷ Kennzeichen der angewandten Forschung als Phase in Forschungs- und Innovationsprozessen ist die erforderliche Interaktion zwischen den treibenden Akteuren in Wissenschaft und Wirtschaft⁷⁸, und es sind vor allem die Schnittstellen, die die Ursache für die mannigfaltigen Effizienzeinbußen in der Kette vom Material zum Produkt bilden (vgl. Abschnitt 4).

Es bedarf vor allem einer stärkeren Orientierung der Anwendungsforschung über die verschiedenen Instanzen hinweg, um Schnittstellenverluste abzubauen. Im Gegensatz zur Grundlagenforschung erfordert die angewandte Forschung zwangsläufig eine stärkere Verfahrens- und Produktorientierung an den wirtschaftlichen Anforderungen und gesellschaftlichen oder Marktbedürfnissen. Effizienzsteigerung durch Fokussierung wird gleichermaßen in der Studie „Innovationsstandort Deutschland – quo vadis?“ der Boston Consulting Group und in den Leitlinien der Hightech-Strategie der Bundesregierung (17 Zukunftsfelder) gefordert.⁷⁹ Diese Papiere könnten auch handlungsleitend für eine interne Ausrichtung der angewandten Forschung innerhalb der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sein. Um der stets steigenden Marktdynamik mit maßgeschneiderten Werkstofflösungen begegnen zu können, ist neben der Effizienzoptimierung auch eine Flexibilitätssteigerung anzustreben. Aufgrund der Entwicklungstendenz hin zu Querschnitts- oder Systemtechnologien werden zudem interdisziplinäre Forschungsanstrengungen zunehmend über die Stellung Deutschlands in der internationalen Forschungsarena der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik entscheiden. Dabei wird es auch auf die stärkere Zusammenarbeit mit Prozesstechnologen, Fertigungsingenieuren, Produktdesignern, Produktentwicklern, Messtechnikern etc. ankommen, d. h. mit allen Disziplinen, die entlang der Kette vom Material zum fertigen Produkt interagieren.

> Zergliederung

Die grundsätzlich guten Forschungsvoraussetzungen in Deutschland werden in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik infolge einer historisch bedingten Dezentralisierung bzw. einer Aufteilung der Forschung nach Fakultäten und Werkstoffklassen jedoch oft nicht voll ausgeschöpft. Noch immer ist eine Parallelentwicklung der materialwissenschaftlich orientierten Forschung in den naturwissenschaftlichen Fakultäten und der Werkstofftechnik als Teil der ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten nicht überwunden; diese bremst die Entwicklung von Werkstoffen mit optimalen Eigenschaften.⁸⁰ Zudem werden die Forschungsaktivitäten im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland bis heute durch die Fragmentierung infolge der klassischen Trennung nach Metallen, Kunststoffen, Glas/Keramik usw. beeinflusst. Innerhalb der einzelnen Werkstoffklassen herrscht in der Regel eine intensive Zusammenarbeit, die auch das Selbstverständnis des jeweiligen Bereichs prägt.⁸¹ Während die Fachkompetenz Deutschlands in einzelnen Werkstoffklassen und Themenschwerpunkten führend ist, verhindert die Zergliederung die Bündelung der Kräfte und die Nutzung der kontinuierlich an Bedeutung gewinnenden systemischen Innovationspotenziale.

Die Auswirkung dieser thematischen Zergliederung entspricht der organisatorischen Zersplitterung, die die Autoren des im Juni 2008 erschienenen Strategiepapiers der Forschungsunion „Zukunftsfeld Werkstofftechnologien“ beschreiben: „Die starke Fragmentierung in Werkstoffwelten und Einzelthemen spiegelt sich auch in der aktuellen Organisationslandschaft mit einer fast unüberschaubaren Anzahl von Plattformen, Netzwerken, Clustern, Kompetenzzentren, Kompetenznetzen etc. von teils regionalem, teils überregionalem Charakter wider, was ebenfalls zu einer Zersplitterung der Kräfte und zu einer Individualisierung von Interessen, vor allem aber zu einer Intransparenz für den Anwender und gegenüber den Forschungsförderern führt. Dies erschwert [...] die Profilierung im europäischen und internationalen Umfeld, d. h. im Wettbewerb.“⁸²

> Der Forschernachwuchs wird knapp

Darüber hinaus fordert der sich kontinuierlich zuspitzende Mangel an Forschungsnachwuchs in Deutschland auch die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik heraus. Dieser resultiert in erster Linie aus der weit hinter dem Bedarf zurückbleibenden Nachfrage nach materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Studiengängen trotz eines guten Angebots.⁸³ Jenseits der universitären Ausbildung gibt es für promovierte Wissenschaftler attraktive Beschäftigungsmöglichkeiten in der Forschung; jedoch können diese nicht immer mit den Konditionen und Perspektiven einer Beschäftigung in Forschungsinstitutionen außerhalb Deutschlands oder in der Industrie konkurrieren. Die im Rahmen dieser Untersuchung befragten Experten weisen darüber hinaus darauf hin, dass sich die Situation in einer Reihe von grundlagenorientierten Forschungsbereichen besonders kritisch gestaltet, die aufgrund eines thematisch bedingten Forschungsaufwandes oder -risikos (z. B. prototypische Werkstoff- und Verfahrensentwicklung) oder aufgrund fehlender Kenntnisse (z. B. Simulation oder Modellierung) bereits im Studium durch einen Großteil der Studierenden gemieden werden.

6.2 RELEVANTE THEMENSCHWERPUNKTE IM BEREICH DER FORSCHUNG ZU MATERIALWISSENSCHAFT UND WERKSTOFFTECHNIK

Hinsichtlich der Analyse der aktuellen Forschungs- und Kompetenzschwerpunkte in Deutschland zielte die im Rahmen der Erstellung dieses Papiers geleistete Vorarbeit zunächst auf eine Bestandsaufnahme relevanter Entwicklungen und Randbedingungen, die als Basis zur Formulierung von bereichsübergreifenden Leitlinien für eine zukünftige Ausrichtung der Forschung im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik dient. Dabei handelt es sich um eine Ideenliste, die im Rahmen der Arbeit des acatech Themennetzwerkes entstanden ist und durch weitere Expertenmeinungen konsolidiert wurde. Insbesondere sind diese Themenschwerpunkte nicht spezifisch für einzelne Werkstoffklassen, sondern betreffen übergreifende Aspekte.

73 Vgl. u. a. Max-Planck-Gesellschaft 2004, S. 11.

74 Vgl. Wissenschaftsrat 2007, S. 87 ff.

75 Zu nennen sind hier etwa die LCD-Displaytechnik bzw. Licht emittierende Devices (vgl. u. a. Boston Consulting Group 2006, S. 60) sowie die Nutzung des Giant Magneto Resistance (GMR)-Effekts (vgl. Heiker 2008, S. 17).

76 Vgl. u. a. Wissenschaftsrat 2007, S. 29; Boston Consulting Group 2006, S. 59; Forschungsunion 2008, S. 10; Höcker 2008, S. 6.

77 Vgl. Wissenschaftsrat 2007, S. 87.

78 Vgl. u. a. Wissenschaftsrat 2007, S. 12 ff.

79 Vgl. BMBF 2006, S. 27.

80 Vgl. Höcker 2008, S. 9.

81 Vgl. Forschungsunion 2008, S. 10; Max-Planck-Gesellschaft 2004, S. 299.

82 Forschungsunion 2008, S. 10.

83 Vgl. u. a. BMBF 2006, S. 96.

> Schwerpunkt „Systemkompetenz“

Weil zukünftig das Verständnis nicht nur des Materials, sondern vielmehr des systemischen Verbundes verschiedenster Werkstoffe innerhalb von Endprodukten unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus erfolgsentscheidend sein wird, sollte ein weiterer Schwerpunkt der Forschung und Lehre im gezielten Aufbau von Systemkompetenz liegen.⁸⁴

Systemkompetenz beinhaltet das Bestreben, komplexe Wechselwirkungen innerhalb des Gesamtsystems (beispielsweise zwischen der Werkstoffzusammensetzung, seiner Herstellung und seiner Verarbeitung und den funktionalen Eigenschaften des Endprodukts) zu erkennen und durch die Entwicklung und den Einsatz strukturierender Instrumente handhabbar zu machen. Der Aufbau von sog. „Baukastensystemen“ für den Einsatz von Additiven in der Werkstoffentwicklung ist ein Beispiel eines solchen Lösungsansatzes, der das Problem der anforderungsgerechten Werkstoffentwicklung systematisieren und für den Anwender vereinfachen soll. Der Aufbau und die Nutzung von Systemkompetenz erfordern jedoch ein stärker vernetztes Denken und Arbeiten, vor allem jenseits der Grenzen der traditionellen Wissenschaftsdisziplinen.

> Schwerpunkt „Simulation“

Die aufkeimenden Entwicklungen mit Bezeichnungen wie skalenergreifende Werkstoffsimulation, Multiskalenmodellierung oder Advanced Materials Simulation stellen Musterbeispiele der zuvor beschriebenen Forderung nach einer verstärkten Systemkompetenz im Allgemeinen dar. Computergestützte Simulationen sind in vielen Technikbereichen bereits seit Jahren eingeführt und gehören zum Stand der Technik, jedoch ist dies in der Werkstoffentwicklung erst ansatzweise der Fall.⁸⁵ Neue Simulationsansätze und -techniken sollen es erlauben, Werkstoffeigenschaften von der Entwicklung und Herstellung über die Verarbeitung bis hin zur Vorhersage über die zu erwartenden Bauteileigenschaften computergestützt zu begleiten.

Erfolge der letzten Jahrzehnte im Grundlagenverständnis der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Werkstoffen erwecken die Hoffnung, Modelle für die Eigenschaften und Vorgänge innerhalb von Festkörpern auf zahlreichen Ebenen von der atomistischen über die mikro- und mesoskopische bis hin zur Makroebene zu entwickeln. Diese bilden die Basis für Simulationsketten sowohl über die verschiedenen Skalen hinweg als auch entlang des Werkstofflebenszyklus. Ziel dabei ist es, ein tieferes Verständnis über Eigenschaften und Eigenschaftskorrelationen zwischen einzelnen Werkstoffebenen zu erlangen. Darüber hinaus ist ein vor allem wirtschaftlich getriebenes Ziel, die herkömmlichen, kosten- und zeitintensiven Methoden (Trial & Error) bei der empirischen Suche nach und der Erprobung von neuen Materialien zu ersetzen.⁸⁶ Im gleichen Zusammenhang ist die Vorgehensweise der „inversen Simulation“ von hoher Bedeutung. Im Kontext der Werkstoffe und Werkstofftechnologien bedeutet dies, in umgekehrter Richtung, d. h. ausgehend von gewünschten Produkteigenschaften eine geschlossene Simulationskette bis hin zur Material- sowie zur Prozessebene herzustellen. Falls dies gelingt, bietet dieser Ansatz den Produktentwicklern den wesentlichen Vorteil, mit deutlich reduziertem Aufwand maßgeschneiderte Werkstofflösungen inklusive der technischen und wirtschaftlichen Informationen zu erhalten.

Indem der zumeist atomistische Ansatz der Naturwissenschaften mit dem makroskopisch geprägten Denken der Ingenieurwissenschaften verbunden wird, ist die „skalenergreifende“ Werkstoffsimulation notwendigerweise interdisziplinär. Hervorzuheben ist zudem der besondere Plattformcharakter der umfassenden Multiskalensimulation, mit der einer bereichs- und werkstoffklassenübergreifenden, gemeinsamen Herausforderung der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik begegnet wird.⁸⁷ Mittel- und langfristig sollte die Kopplung der teilweise zur Zeit noch weitgehend autark arbeitenden Simulationsansätze und -instrumente angestrebt werden, um durchgängige, prozesskettenübergreifende Simulationsketten zu ermöglichen. Freilich darf sich die Simulation nicht verselbständigen, sondern muss von der experimentellen Prüfung der Ergebnisse auf Relevanz begleitet werden.

> Schwerpunkt „Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde“

Ein anschauliches Beispiel für die Notwendigkeit, die Grenzen zwischen den Werkstoffklassen zu überwinden, stellen die Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde dar.⁸⁸ Die Beispiele der metall-, keramik-, glas- oder polymerbasierten Hybridmaterialien, Leichtbaumaterialien, Biowerkstoffe, Beschichtungen und Verklebungen deuten die Breite des Themenfeldes nur an. Ihnen allen ist gemein, dass zum Teil gegensätzliche Eigenschaften von Einzelwerkstoffen auf gezielte Weise verbunden werden, um Alleinstellungsmerkmale auf der Systemebene zu erzielen. Oft kann heute nur durch Misch- oder Systembauweise das heterogene, über die reine Funktionalität hinausreichende Anforderungsprofil (z. B. hinsichtlich Sicherheit, Kosten, Recycelbarkeit) moderner Werkstofflösungen erfüllt werden.⁸⁹ Die Forschungsarbeit im Bereich der Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde ist demnach eine ausgeprägt interdisziplinäre, werkstoff- bzw. werkstoffklassenübergreifende Aufgabe, wobei immer auch Forschungsarbeit im Bereich der Einzelwerkstoffe, d. h. im Bereich neuartiger und „traditioneller“ Werkstoffe geleistet werden muss. Zentrale Forschungsfragen beziehen sich auf Grenzflächeneffekte und -mechanismen sowohl auf der Mikroebene als auch auf den sichtbaren Makrobereich. In der Entwicklungs- und Umsetzungsphase beziehen sich ungelöste Fragen vor allem auf das Systemdesign, die Herstellung, die Phasenbindung, das Einsatzverhalten sowie auf Fragen der Normung und Entsorgung. Während Markterfolge der Verbundwerkstoffe vor allem aufgrund von fertigungstechnischen Herausforderungen bisher oft hinter den Erwartungen zurückblieben, ist das antizipierte Potenzial im Bereich für Werkstoffverbund-/Multimaterialsysteme besonders ausgeprägt.⁹⁰

6.3 ANSÄTZE ZUR EFFIZIENZSTEIGERUNG DER FORSCHUNG IN DER MATERIALWISSENSCHAFT UND WERKSTOFFTECHNIK IN DEUTSCHLAND

Ungeachtet des notwendigen Handlungsbedarfs im Wissenstransfer liegt ein entscheidender Schlüssel für Produkt- und Umsetzungserfolge in der grundlagenorientierten Forschung.⁹¹ Beispiele wie die Modellierungs- und Simulationstechnik zeigen, dass möglicherweise die größten Beiträge zur Effizienzsteigerung aus Forschungserfolgen der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik selbst zu erwarten sind.⁹²

Neben angemessenen Fördervolumina und -programmen erhält somit die geforderte Verstärkung der hier beschäftigten Personen auch aus der Perspektive des effizienten Wissenstransfers weiteren Auftrieb. Vor allem die Steigerung der Attraktivität des deutschen Forschungsstandortes für hochqualifizierte Wissenschaftler aus dem In- und Ausland sowie eine verbesserte und verstärkte Ausbildung des Forschungsnachwuchses bilden dabei wichtige Ansätze.

Durch das von der DFG geförderte Projekt „Strategie zur Erhöhung der Effizienz und Zukunftsorientierung im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ wurde eine vielversprechende Initiative zur verstärkten Fokussierung und Koordinierung in der Forschung initiiert. Ziel des Vorhabens ist die erstmalige Erarbeitung einer umfassenden „Meta-Roadmap“ für die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland, die die Vielzahl an Branchen-Roadmaps und Strategiepapieren integriert.⁹³ Durch Vorgabe von Leitbildern im Anwendungsbereich und durch Bereitstellung einer weitgehend lösungsunabhängigen Kommunikations- und Planungsgrundlage zeigen solche Roadmaps geeignete Wege auf zur Förderung der gemeinsamen Ausrichtung der Forschungsaktivitäten, zur Identifizierung „weißer Flecken“ auf der Forschungslandkarte und zur Erschließung neuer Anwendungs- und Synergiepotenziale.

84 Vgl. Heinrich 2008, S. 61.

85 Köhler 2008.

86 Vgl. BMBF-WING 2004, S. 32; Brandt et al. 2007, S. 10.

87 Vgl. Forschungsunion 2008, S. 19.

88 Hierzu richtet die Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V. (DGM) regelmäßig Symposien aus, was gleichermaßen auf die führende Stellung Deutschlands wie auf das antizipierte Wachstumspotenzial in diesem Bereich hinweist.

89 Vgl. Forschungsunion 2008, S. 16.

90 Dies entspricht der prominenten Stellung des Themenfeldes innerhalb des Strategiepapiers der Forschungsunion.

91 Vgl. die Website EU-Plattform Sustainable Chemistry, <http://www.suschem.org>.

92 Die Modellierungs- und Simulationstechnik greift an zahlreichen Stellen in der Prozesskette, beschleunigt nicht nur das „Scale-up“, sondern ermöglicht mitunter erst die Lösungsfindung.

93 Roadmapping 2008.

7 FORSCHUNGSFÖRDERUNG

> acatech empfiehlt

– Leitbilder und Roadmaps

Sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene sollte die Erarbeitung von Leitbildern und Roadmaps gefördert werden, denn eine hohe Validität, Aktualität und Anwendungsrelevanz solcher Roadmaps ist nur durch eine breite Beteiligung und aktive Unterstützung innerhalb der Branche gewährleistet. Der breite Einsatz von Leitbildern und Roadmaps als koordinative Instrumente sollte seine Fortsetzung auf der Projektebene finden, um Forschungs- und Entwicklungsarbeiten über verschiedene Entwicklungsstufen und -partner hinweg eine Orientierung zu verleihen. Gerade für Systemlösungen, die durch eine besonders hohe Anzahl und Vernetztheit der beteiligten Entwicklungsleistungen gekennzeichnet sind, mangelt es derzeit noch an strategischen Roadmaps mit einer klaren Zielfokussierung.⁹⁴

– Koordination und Vernetzung

Den Nachteilen der räumlichen Zergliederung der Forschungslandschaft in Deutschland sollte durch eine bessere Koordination entgegenwirkt werden. Ziel ist eine stärkere Vernetzung innerhalb der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik auch hinsichtlich der Forschung. Auch durch weniger umfassende Netzwerkstrukturen – vor allem solche, die eine ziel- oder themenorientierte Kooperation zwischen Forschungsinstituten und Unternehmen bewirken – können erhebliche Effizienzvorteile erzielt werden.⁹⁵

Mit der Gründung der Bundesvereinigung MatWerk wurde eine Instanz auf Verbandsebene geschaffen, die das Ziel verfolgt, den Austausch zwischen den Einzelverbänden aktiv zu fördern und das Forschungsnetzwerk auf Branchenebene zu intensivieren (siehe Abschnitt 3.3).

Eine Reihe von Positivbeispielen⁹⁶ bestärkt zudem die Erkenntnis, dass die örtliche Nähe aller Know-how-Träger die Effizienz im Produktentstehungsprozess und in der Wertschöpfungskette begünstigt. Als Förderungsansatz hat die regionale Zentrenbildung für Schwerpunktthemen daher bereits Eingang in zahlreiche Förderprogramme gefunden wie beispielsweise Sonderforschungsbereiche der DFG, Kompetenzzentren, die Innovationscluster der Fraunhofer-Gesellschaft und Spitzencluster (siehe unten). Über räumlich bedingte Vorteile hinaus bieten diese Netzwerke auch feste Anlaufstellen für gewisse Themengebiete, sodass der geäußerten Intransparenz über Verantwortlichkeiten und Themenschwerpunkte im Bereich der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik entgegengewirkt werden kann.

Durch zahlreiche weitere Maßnahmen können die Rahmenbedingungen für die zügige und breite Umsetzung von Forschungsergebnissen weiter verbessert werden.

– Bereitstellung vorhandener Infrastruktur

Insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen sowie ressourcenschwächere Forschungsinstitute sollte vorhandene Forschungsinfrastruktur (beispielsweise Prototypenlabors) bereitgestellt werden; diese teils sehr kostenintensiven Anlagen würden dadurch auch besser ausgelastet werden.⁹⁷

Obwohl die Wirkung solcher Maßnahmen im Einzelnen oft gering ist, kann die Summe der umgesetzten Einzelmaßnahmen Effizienzsteigerungen auf der Gesamtebene bewirken.

Während die gemeinsame Identität der materialwissenschaftlichen und werkstofftechnischen Forschung in Deutschland auf der internationalen Bühne in erster Linie durch exzellente, integrative Forschungsergebnisse gefördert werden kann, ist die Stärkung der gemeinsamen Identität der Branche und des Wissenschaftsfeldes darüber hinaus vor allem eine Frage der gezielten Öffentlichkeitsarbeit (vgl. Abschnitt 3.3).

7.1 DERZEITIGE SITUATION DER FÖRDERUNG IN DEUTSCHLAND

Die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik stellt aufgrund ihrer Hebelwirkung für Produkte und Systeme traditionell, aber auch zukünftig ein fruchtbares Feld für die Forschungsförderung dar. In einigen Fällen können hier – wie zahlreiche technische und wirtschaftliche Erfolge öffentlicher Förderprojekte zeigen – schon vergleichsweise kleine Fördermittelbeträge eine große Hebelwirkung entfalten.⁹⁸ Zudem stellt die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik die Basis für Innovationen in nahezu allen wichtigen Bereichen dar. Deshalb sollte sich das Förderniveau an Branchen wie z. B. der Biotechnologie oder der IT orientieren und angeglichen werden.⁹⁹

Die deutsche Förderlandschaft ist im Wesentlichen durch eine themenoffene Förderung der Grundlagenforschung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und eine themengebundene Förderung der angewandten Forschung durch das BMBF, das BMWi über die AiF und andere geprägt.¹⁰⁰ Neben diesen nationalen Förderorganisationen stehen die Förderprogramme der Europäischen Union zur Verfügung.

> Probleme in der Förderung anwendungsorientierter Forschung

Im Gegensatz zur Förderung der grundlagenorientierten Forschung durch die DFG, die nach der Auffassung zahlreicher im Rahmen dieser Untersuchung befragter Experten als zielführend erachtet wird, bestehen insbesondere in der Förderung der angewandten Forschung, aber auch an der Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung Verbesserungspotenziale.

Zur Fokussierung der Ressourcen ist eine Themenbindung der anwendungsorientierten Forschung unabdingbar. Dafür wurden bereits in der Vergangenheit verschiedene Themenschwerpunkte definiert, die sich an wichtigen gesellschaftlichen Entwicklungen,

den Kundenanforderungen und dem potenziellen Anwendernutzen bzw. der Attraktivität der Märkte orientieren. Dazu zählen beispielsweise Mobilität, Gesundheit, umweltverträgliche Energieversorgung sowie Information und Kommunikation.¹⁰¹ Aus der Produktnähe dieser Themenschwerpunkte leitet sich aufgrund der hohen Anzahl von Werkstoffen und Werkstofftechnologien automatisch eine Priorisierung in der Förderung ab.

Dadurch besteht aus Sicht der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in der anwendungsorientierten Forschung die Gefahr von thematischen „Lücken“ in der Förderung, die eine Förderung von bedeutenden Teilgebieten erschweren oder sogar verhindern. Eine den Bedürfnissen der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik entsprechende Anpassung der Förderlandschaft wird jedoch durch eine Reihe von Rahmenbedingungen erschwert. Einerseits sind aufgrund des teilweise sehr hohen zeitlichen Vorlaufs in der Werkstoffforschung viele Materialentwicklungen nicht oder nur nach langer Vorlaufzeit rentabel. Deshalb darf sich die langfristige Förderung der Forschung nicht an kurzfristigen Gewinn- und Arbeitsplatzzahlen orientieren, und die Politik darf in frühen Phasen der Werkstoffentwicklung noch keinen vollen Einsatz in der Bauteil- und Systemindustrie erwarten.¹⁰² Vielfach konzentrieren sich die Förderung bzw. die günstigen Fördersätze auf die vorwettbewerbliche Forschung, während – zur Vermeidung unerlaubter Vorteilsnahme durch einzelne Unternehmen – die stärker anwendungsorientierte Forschung deutlich weniger gefördert wird. Das lässt jedoch häufig die schon mehrfach genannte Kette „Vom Material zum Produkt“ abreißen.

Andererseits liegt eine weitere wesentliche Herausforderung der Förderung der Materialforschung in dem Missverhältnis der erforderlichen Forschungsleistung zu dem späteren Wertschöpfungsanteil in der Kette vom Material zum Produkt: Der Werkstoffhersteller partizipiert zumeist nur geringfügig an der späteren, oft hohen Wertschöpfung der Bauteile bzw. Systeme, obwohl bei ihm der überwiegende FuE-Kostenanteil anfällt.¹⁰³ Dadurch fällt es häufig schwer, Fördergeber von den Erfolgsaussichten der Projektvorschläge zu überzeugen.

94 Vgl. Forschungsunion 2008 S. 10; Max-Planck-Gesellschaft 2004, S. 289.

95 Vgl. Forschungsunion 2008, S. 19.

96 Vgl. die Website Technologiezentrum Oberflächentechnik Rheinbreitbach, <http://www.tzo-gmbh.de>.

97 Vgl. A Strategy for Materials 2006, S. 6.

98 Vgl. BMBF-WING 2004, S. 6.

99 Vgl. Max-Planck-Gesellschaft 2004, S. 308.

100 Vgl. Kopp 2008, S. 28.

101 Vgl. BMBF-WING 2004, S. 20.

102 Vgl. Winnacker 2008, S. 50.

103 Vgl. BMBF-WING 2004, S. 5.

7.2 ANSÄTZE ZUR VERBESSERUNG DER FORSCHUNGSFÖRDERUNG

In Anbetracht des Bedarfs an gezielten Anpassungen in der angewandten Forschungsförderung und um den spezifischen Herausforderungen der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu begegnen, lassen sich auf Grundlage der Ergebnisse der Umfrage und der Experteninterviews die folgenden Ansätze identifizieren:

> acatech empfiehlt

– Abstimmung der Förderprogramme

Die verschiedenen Förderprogramme sollten untereinander besser abgestimmt sein, um durchgängige Förderungs- und Finanzierungsmöglichkeiten über alle Entwicklungsstufen inklusive der Prototypphase hinweg zu gewährleisten.

– Durchgängige Förderung von der Grundlagenforschung bis zur Produktentwicklung:

Um zu verhindern, dass fast vollendete Entwicklungen scheitern, muss die Durchgängigkeit der Fördermaßnahmen über alle Stufen der Wertschöpfungskette hinweg gewährleistet werden.¹⁰⁴ Insbesondere die Phasen, die unter dem Begriff des „Scale-up“ zusammengefasst werden (vgl. Abschnitt 4.1), müssen bei werkstoffbasierten Entwicklungen verstärkt gefördert werden. Nur durch eine Förderung aller Phasen kann eine Überführung von materialwissenschaftlichen Erkenntnissen in werkstoffbasierte Innovationen erreicht werden. Dies bedeutet freilich sehr oft lange Förderzeiten, die durch abgestufte Bereitstellung von Fördermitteln unterstützt werden könnten. Eine effektive Form dieses Technologietransfers findet auch über Ausgründungen statt, die daher in besonderer Weise gefördert werden sollten.

In der Kette von der Idee über die Stufen Proof of Principle, Proof of Concept und Prototypenstellung bis zur Produktentwicklung liegt der derzeitige Fokus der Förderung auf den Phasen bis zum Proof of Concept. Die darauf folgenden Phasen werden laut Expertenaussagen insbesondere in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik nicht ausreichend gefördert, weil eine

unerwünschte Subventionierung vermieden werden soll. Zudem übersteigen die Laufzeiten zur Umsetzung neuer Werkstoffsysteme und -technologien in marktreife Produkte üblicherweise die Laufzeit von Förderprogrammen. Ein weiterer Grund für die fehlende Förderung der letzten Phasen ist, dass die Bedeutung der Technologien wie Herstellungsverfahren oder Messtechnik, die die eigentliche Materialentwicklung begleiten oder erst ermöglichen, häufig unterschätzt wird.¹⁰⁵ Gerade in den Phasen von der Prototypenstellung bis hin zur Produktentwicklung müssen in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik jedoch häufig hohe, aber immer noch mit einem hohen Risiko behaftete Investitionen getätigt werden.¹⁰⁶ Unternehmen haben erhebliche Schwierigkeiten, Risikokapitalgeber für die Finanzierung des Scale-up zu finden.

– Berücksichtigung der Innovationsmechanismen

Bei der Förderung von Innovationen sollte bei der Ausschreibung der Förderschwerpunkte keine einseitige Ausrichtung zugunsten des Pull-Prinzips erfolgen (vgl. Abschnitt 3.2). Vielmehr sollte ein Gleichgewicht zwischen den Innovationsmechanismen angestrebt werden, damit auch das Potenzial der nicht unmittelbar an Anwendungen orientierten Werkstoffentwicklungen besser genutzt werden kann. Die Vorgabe von Leitbildern, die beispielsweise aus Megatrends und aus antizipierten Anforderungen abgeleitet werden, sowie das Aufstellen von Roadmaps können dazu beitragen, der Entwicklungsarbeit eine Orientierung zu verleihen und Effizienzsteigerungen zu erwirken.

– Themenseitige Flexibilisierung der Förderung der angewandten Forschung:

Die Förderung der angewandten Forschung sollte hinsichtlich der Themen flexibler werden: Sowohl eine Fokussierung auf gesellschaftliche Themen als auch die Schaffung notwendiger Freiräume für weitere wichtige Teilgebiete der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sind erforderlich. Dabei ist es wichtig, Forschungsthemen auch den Belangen der industriellen Werkstoffentwicklung anzupassen und nicht nur aktuellen Trends zu folgen.

Eine Orientierung an Kunden- und Marktanforderungen ist für die angewandte Forschung zwingend erforderlich, um die

Forschungsergebnisse in marktreife Produkte zu überführen (vgl. Kasten DPI). Zudem erfordern die begrenzten Forschungsmittel eine themenseitige Fokussierung. Diese Themen werden jedoch in der heutigen Forschungsförderung häufig zu stark vom Produkt ausgehend motiviert und sind von den Belangen der eigentlichen Werkstoffe zu weit entfernt. Zudem haben Schlagwörter

wie „Nano“ und „Bio“ in der Förderung ein zu hohes Gewicht.¹⁰⁷ Dies kann dazu führen, dass Forschungsprojekte thematisch an einem bestimmten Forschungsprogramm ausgerichtet werden müssen, um erfolgreich sein zu können. Andererseits werden, in Anbetracht der großen Anzahl verschiedener Materialien und Werkstoffe, wichtige Teilgebiete ungewollt ausgegrenzt.

> Alternative Fördermodelle am Beispiel des Dutch Polymer Institute (DPI)

Die Technological Top Institutes (TTI) in den Niederlanden zeigen, wie sich ein flexibles Fördermodell gestalten lässt. Am Beispiel des Dutch Polymer Institute (DPI) werden besondere Merkmale dieses Förderinstruments aufgezeigt.¹⁰⁸

Seit seiner Gründung vor zehn Jahren hat sich das DPI zu einem weltweit führenden Zentrum für grundlagenorientierte Polymerforschung entwickelt. Partner sind zum einen große nationale und internationale Konzerne vornehmlich aus der Kunststoff herstellenden und Kunststoff verarbeitenden Industrie. Diese Partner definieren die für sie relevanten Forschungsthemen und betreuen die Forschungsarbeit der Wissenschaftler und Doktoranden in den wissenschaftlichen Partnerinstituten, d. h. in universitären und außeruniversitären Forschungsinstituten und in FuE-Einrichtungen in- und außerhalb der Niederlande. Eine sehr enge Zusammenarbeit innerhalb der einzelnen Forschungsprojekte zwischen erfahrenen Experten aus der Industrie und den Doktoranden (nahezu im Verhältnis 1:1) sowie zwischen den Spezialisten verschiedener Fachbereiche ermöglicht einen intensiven Wissenstransfer und führt zu einer hohen Qualität der Forschungsarbeit.

Indem das Niederländische Wirtschaftsministerium die finanziellen Beiträge der Industrie und der Universitäten in etwa verdoppelt, ist der Anreiz für die Beteiligung am DPI auch aufseiten der Industrie besonders hoch. Für den Staat hingegen garantiert das Modell, dass die Fördergelder in grundlagenorientierte Projekte fließen, die sowohl von wissenschaftlicher als auch von industrieller Relevanz sind.

Durch schlanke Prozesse und Strukturen kommt zudem der Großteil der Fördergelder der Forschungsarbeit zugute. Die konsequente Umsetzung des „Lean & mean“-Prinzips spiegelt sich in der virtuellen Institutsstruktur und in besonders schnellen Antrags- und Bewilligungsverfahren wider.¹⁰⁹

Allerdings basiert dieses Fördermodell zu einem hohen Anteil auf staatlichen (und damit nationalen) Mitteln; es ist noch unklar, wie das Finanzierungsmodell vor dem Hintergrund der Globalisierung zur Ermöglichung einer Integration internationaler Partner langfristig angepasst werden könnte. Die kurzfristige Orientierung der Industriepartner kollidiert mitunter mit dem langfristigeren Denken der Hochschulpartner (beispielsweise der Promotionsdauern)¹¹⁰. Auch ist das Fördermodell in seiner jetzigen Form ungeeignet für die Integration von KMUs. Schließlich stellt sich die Frage, wie in diesem Zusammenhang neben der Grundlagenforschung auch eher anwendungsorientierte Themen besser gefördert werden können.

Über das Finanzierungskonzept hinaus hat sich das Fördermodell dennoch in vielerlei Hinsicht Vorbildcharakter: Zum einen zeigt es, wie flexible Forschungs Kooperationen zwischen Wissenschaft und Industrie gestaltet werden können, und zum anderen, wie eine Fokussierung der Grundlagenforschung im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik auf relevante Industrie- und Marktbedürfnisse unter Vermeidung einer allzu großen „Starrheit“ in der Förderung möglich ist. Es ist darüber hinaus das einzig bekannte Förderinstrument, das die Zusammenarbeit fast aller relevanten Wettbewerber in einem vorwettbewerblichen Stadium realisiert.

104 Vgl. BMBF-WING 2004, S. 14.

105 Vgl. Forschungsunion 2008, S. 8.

106 Vgl. Kopp 2008, S. 32.

107 Vgl. Boston Consulting Group 2006, S. 60.

108 <http://www.polymers.nl>. Das vergleichbare Materials Innovation Institute (M2I, siehe <http://www.m2i.nl>) hat den Schwerpunkt der Förderung metallischer Werkstoffe.

109 Vgl. Lemstra 2008, S. 83.

110 Vgl. Lemstra 2008, S. 86.

– Neue Finanzierungskonzepte für Forschung im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik

Zur Überwindung finanzieller Hindernisse bei der Entwicklung zukünftiger Werkstoffe müssen neue Förderungs- und Finanzierungskonzepte entwickelt werden. Partnerschaftliche Kooperationen in den Förderprojekten oder spätere Erfolgsbeteiligungen bilden mögliche Ansätze.¹¹¹ Werkstofftechnische Fragen sollten hier als integrierter Bestandteil der Produktentwicklung angesehen werden. Darüber hinaus sollte die Förderpolitik dem langfristigen, explorativen Charakter der Werkstoffforschung gerecht werden, d. h. eine breite Förderung der Grundlagenforschung mit einschließen (vgl. Kasten ICAMS).¹¹²

> Alternative Fördermodelle am Beispiel des Interdisciplinary Centre for Advanced Materials Simulations (ICAMS)

Mit dem an der Ruhr-Universität Bochum angesiedelten Interdisciplinary Centre for Advanced Materials Simulations (ICAMS) wurde ein Konstrukt geschaffen, das nicht nur inhaltlich, sondern auch organisatorisch sowie hinsichtlich des gewählten Förderinstrumentes neue Wege geht. Das ICAMS geht auf eine gemeinsame Initiative des Max-Planck-Instituts für Eisenforschung, des Initiativkreises Ruhrgebiet und des von der ThyssenKrupp AG geleiteten „Impulskreis Werkstoffinnovation“ zurück, die im Jahre 2005 angestoßen wurde und im Juni 2008 in der offiziellen Eröffnung des ICAMS gipfelte.¹¹³

Das Zentrum für Werkstoffsimulation erhält zunächst eine auf fünf Jahre angelegte Anschubfinanzierung in Höhe von 24,2 Millionen Euro. Ein weiterer wissenschaftlicher Partner ist die RWTH Aachen. Nach dem Public-Private-Partnership-Modell werden Gelder zur Hälfte von einem Industriekonsortium unter Federführung von ThyssenKrupp, dem außerdem Bayer MaterialScience und Bayer Technology Services, Salzgitter Mannesmann Forschung und Bosch angehören, und zur anderen Hälfte vom Land Nordrhein-Westfalen zur Verfügung gestellt.¹¹⁴ Um interdisziplinäres Arbeiten zu fördern, werden die drei neu geschaffenen Professuren des internationalen Zentrums an der Ruhr-Universität von den Fakultäten für Chemie, Mathematik, Maschinenbau und Physik gemeinsam getragen.

> Weitere Ansatzpunkte: KMU, regionale Netzwerke, Abbau organisatorischer Hürden

KMU sind die Basis des wirtschaftlichen Erfolgs in Deutschland. Sie schaffen die meisten Arbeitsplätze in Deutschland und zeichnen sich durch eine besondere Innovationskraft aus. Um dieses Nutzenpotenzial für Deutschland zu erhalten und weiter auszubauen, bedürfen sie einer besonderen Unterstützung durch die Fördergeber.¹¹⁵ In Anbetracht der entscheidenden Position von KMU im Wertschöpfungsnetzwerk und ihrer Schlüsselrolle in der Kette vom Material zum Produkt ist zudem ihre Unterstützung ein essentieller Bestandteil einer Förderung über die gesamte Wertschöpfungskette. Aufgrund begrenzter Ressourcen betreiben KMU in der Regel keine intensive, breitgefächerte FuE. Außerdem werden sie durch inhibitive Faktoren wie hohe Entwicklungsrisiken, lange Entwicklungsdauer, Fachkräftemangel und hohe Investitionen für den Fertigungsaufbau eingeschränkt. Die Situation der im Werkstoffbereich tätigen KMU wird durch die oben genannten Spezifika dieser Disziplin noch weiter erschwert. Um auch KMU einen stetigen Zugang zu Know-how und einen aktiven Technologietransfer zu ermöglichen, ist eine enge Anbindung an Großunternehmen, Universitäten und Forschungsinstitute erforderlich, wie sie durch eine Einbindung in Netzwerke, Zentren und Verbundforschungsvorhaben erreicht werden kann.¹¹⁶ Schon längere Zeit ist bekannt, dass vereinheitlichte Angebote, erleichterte Ausschreibungsbedingungen und eine verbesserte Informationsverfügbarkeit erforderlich sind, um den KMU-Sektor nachhaltig zu stärken.¹¹⁷

Eine weitere geeignete Maßnahme zur Förderung der Materialforschung bis hin zum Produkt oder System ist die Unterstützung der regionalen Zusammenarbeit aller Know-how-Träger. Aktuelle Untersuchungen haben gezeigt, dass die örtliche Nähe aller Know-how-Träger Innovationsprozesse begünstigt.¹¹⁸ Da regionale Förderprogramme besonders häufig zu verwertbaren Ergebnissen führen und da die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kooperation über die Projektlaufzeit hinaus bestehen bleibt,

in solchen regionalen Netzwerken höher ist, sollten solche Programme ausgebaut werden. Eine nachhaltige Möglichkeit dazu ist der Aufbau regionaler Kompetenz- oder Technologiezentren, die im Mittelpunkt eines regionalen Know-how-Clusters stehen, das beispielsweise von Universitäten oder Forschungseinrichtungen ausgehen kann.

Dieser Gedanke wird zunehmend verwirklicht; beispielsweise haben das Land Nordrhein-Westfalen und die Fraunhofer-Gesellschaft ein Innovationscluster „Integrative Produktionstechnik für energieeffiziente Turbomaschinen – TurPro“ gegründet¹¹⁹ und die Bayerische Staatsregierung initiierte das „Cluster Neue Werkstoffe“.¹²⁰ Auch der im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung stehende Spitzencluster-Wettbewerb des BMBF stärkt die Innovationskraft solcher Cluster aus Wissenschaft und Wirtschaft.¹²¹

Grundlage einer erfolgreichen Umsetzung der genannten inhaltlichen Ansatzpunkte ebenso wie eine erforderliche Maßnahme zur Verbesserung der Effizienz der aktuellen Förderung ist der Abbau organisatorischer Hürden. Dies beinhaltet einerseits die Einführung unbürokratischer Verfahren für Anträge, Bewilligung und Controlling aber auch eine größere Offenheit hinsichtlich der Form der geförderten Projekte (beispielsweise bzgl. der Laufzeit der Förderung oder Art und Anzahl der Partner). Der Bürokratieabbau in der Förderung ist zwar keine für die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik spezifische Forderung, wurde jedoch durch die befragten Experten als zentrales Hemmnis genannt.¹²²

111 Vgl. BMBF-WING 2004, S. 5.

112 Vgl. Winnacker 2008, S. 50.

113 Vgl. die Website ICAMS, <http://www.icams.rub.de/icams.htm>.

114 Vgl. die Pressemitteilung der Ruhr-Universität Bochum am 6.6.2008 zur Eröffnung des Materialforschungszentrum ICAMS, <http://www.pm.rub.de/pm2008/msg00174.htm>.

115 Vgl. BMBF-WING 2004, S. 9 ff.

116 Vgl. Forschungsunion 2008, S. 24.

117 Vgl. BMBF 2006, S. 67; BMBF-WING 2004, S. 9 ff.

118 Vgl. u. a. Kopp 2008, S. 28; DIW 2004.

119 Vgl. die Website TurPro, <http://www.fraunhofer.de/institute/innovationscluster/turpro.jsp>.

120 Vgl. die Website Cluster Neue Werkstoffe, <http://www.cluster-neuewerkstoffe.de>.

121 <http://www.spitzencluster.de/de/468.php>.

122 Vgl. dazu auch das ITAS-Projekt „Wissens- und Technologietransfer in der Materialforschung – Charakteristika und Bedingungen für erfolgreiche Produktinnovation“ (InnoMat), <http://www.itas.fzk.de/deu/projekt/2006/brae0660.htm>.

8 PERSPEKTIVEN FÜR DIE WEITERE ARBEIT

Mit diesem Papier „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland“ beschreibt acatech, die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, die aktuelle Situation und zeigt Ansätze zum Handeln auf, damit Deutschland in diesem Bereich weiterhin an der Weltspitze bleibt.

Für die unmittelbare Zukunft ergeben sich folgende Perspektiven zur weiteren Arbeit des acatech Themennetzwerkes Werkstoffe und zur Fortschreibung dieses Papiers:

- Um die Bedeutung der Werkstoffe der Öffentlichkeit bewusst zu machen, sollte durch eine umfassende Analyse der Wertbeitrag der Werkstofftechnologien über alle Wertschöpfungsstufen hinweg zum Bruttoinlandsprodukt in Deutschland transparent gemacht werden.
- Hinsichtlich der Einbettung in den europäischen Forschungsraum und der Globalisierung der Märkte sollte eine Analyse der internationalen, besonders der europäischen Situation durchgeführt werden. Tatsächlich beabsichtigt das acatech Themennetzwerk Werkstoffe, eine solche Analyse durchzuführen, an die sich ein kontinuierliches Monitoring strategischer Aktivitäten anschließen muss. Dabei gilt es, auch über Ländergrenzen hinweg die Kräfte zu bündeln, um die Effizienz der europäischen Forschungslandschaft im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik zu steigern.
- Gemeinsam mit den anderen in diesem Papier genannten Akteuren sollten eine fundierte Sachanalyse zur Identifizierung zukünftiger Forschungsschwerpunkte im Gesamtbereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik durchgeführt werden.

Die hier genannten Empfehlungen werden in regelmäßigen Zeitabständen auf ihre Umsetzung hin überprüft und gegebenenfalls aktualisiert.

9 LITERATURVERZEICHNIS

A Strategy for Materials 2006

DTI (Hrsg.): A Strategy for Materials. Materials Innovation and Growth Team, United Kingdom, 2006. URL: http://www.innovateuk.org/_assets/pdf/corporate-publications/dti_a%20strategy%20for%20materials.pdf [Stand: 28.10.2008].

BDI 2008

Bundesverband der deutschen Industrie e. V. (BDI) (Hrsg.): BDI-Manifest für Wachstum und Beschäftigung – Deutschland 2020 (BDI-Drucksache Nr. 411), Berlin: Köllen Druck + Verlag GmbH, 2008.

BMBF 2006

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.): Die Hightech-Strategie für Deutschland, Bonn, Berlin, 2006. URL: http://www.hightech-strategie.de/_media/faktenpapier_hts_deutsch.pdf [Stand: 28.10.2008].

BMBF 2007

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.): Die Hightech-Strategie für Deutschland – Erster Fortschrittsbericht. Bonn, Berlin, 2007. URL: http://www.bmbf.de/pub/hts_fortschrittsbericht.pdf [Stand: 28.10.2008].

BMBF-WING 2004

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg.): Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING. Bonn, Berlin, 2003. URL: http://www.bmbf.de/pub/rahmenprogramm_wing.pdf [Stand: 28.10.2008].

Boston Consulting Group 2006

The Boston Consulting Group (Hrsg.): Innovationsstandort Deutschland – quo vadis? (2006) URL: http://www.bcg.com/publications/files/BCG_Studie_Innovationsstandort_Deutschland__quo_vadis_03Jan07.pdf [Stand: 28.10.2008].

Brandt et al. 2007

Brandt, L. et al.: Innovations- und Marktpotenzial neuer Werkstoffe. Monitoringbericht 2007. Hrsg. von Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH (Zukünftige Technologien Nr. 72), Düsseldorf, 2007.

Bremer/Scheibner 2007

Bremer, F.-J./Scheibner, B.: „BMBF-Förderung der Werkstofftechnologien – Neue Impulse für Industrie und Gesellschaft.“ In: Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (Hrsg.): Im Fokus: Werkstofftechnologien (Jahresmagazin Ingenieurwissenschaften 2007), Lampertheim: ALPHA Informationsgesellschaft mbH, 2007, S. 16-21. URL: www.institut-wv.de/5248.html [Stand: 28.10.2008].

Britische Botschaft Berlin 2006

Pressemitteilung: News aus Forschung und Innovation – Britische Botschaft Berlin (8. März 2006). URL: http://www.britischebotschaft.de/en/embassy/s&i/notes/si-ft-notiz06.09_materialforschung.htm [Stand: 28.10.2008].

BV MatWerk 2007

Pressemitteilung am 14. November 2007 zur Gründung von BV MatWerk (Nr.01/2007). URL: <http://www.matwerk.de/Default.aspx?tabid=648> [Stand: 28.10.2008].

DIW 2004

Fritsch, M./Stephan, A./Werwatz, A.: Wochenbericht des DIW Berlin 27/04 – Regionalisierte Innovationspolitik sinnvoll. Berlin, 2004. URL: http://www.diw.de/deutsch/wb_27/04_regionalisierte_innovationspolitik_sinnvoll/31186.html [Stand: 28.10.2008].

Enke et al. 2007

Enke, M. et al.: „Entwicklung eines Phasenmodells zur Strukturierung der Studienwahlentscheidung für ingenieurwissenschaftliche Studiengänge.“ In: Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (Hrsg.): Im Fokus: Werkstofftechnologien (Jahresmagazin Ingenieurwissenschaften 2007), Lampertheim: ALPHA Informationsgesellschaft mbH, 2007. URL: www.institut-wv.de/5248.html [Stand: 28.10.2008].

Forschungsunion 2008

Lust, K.-H.: Zukunftsfeld Werkstofftechnologien. Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft. URL: http://www.werkstoffbauteile.de/fhg/Images/forschungsunion-werkstofftechnologien_tcm214-124142.pdf [Stand: 28.10.2008].

Gottstein 2008

Gottstein, G.: „Erwartungen an Studiengänge in Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“. In: Höcker, H. (Hrsg.): Werkstoffe als Motor für Innovationen, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2008 (acatech DISKUTIERT), S. 39-46.

Heiker 2008

Heiker, F. R.: „Wer sie nicht kannte, die Elemente ...“. In: Höcker, H. (Hrsg.): Werkstoffe als Motor für Innovationen, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2008 (acatech DISKUTIERT), S. 13-19.

Heinrich 2008

Heinrich, F.: „Bedeutung von zukünftigen Werkstoffen – Materials for a better life“. In: Höcker, H. (Hrsg.): Werkstoffe als Motor für Innovationen, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2008 (acatech DISKUTIERT), S. 59-61.

Höcker 2008

Höcker, H. (Hrsg.): Werkstoffe als Motor für Innovationen, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2008 (acatech DISKUTIERT).

Kleiner 2006

Kleiner, M.: „Transfer über Köpfe.“ In: forschung – Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft 2/2006. URL: http://www.dfg.de/forschung_online/archiv/2006/2006_2/kommentar.html [Stand: 24.7.2008].

Köhler 2008

Köhler, K.-U.: Pressegespräch anlässlich der Eröffnung des ICAMS am 6. Juni 2008 in Bochum. URL: <http://www.pm.ruhr-uni-bochum.de/pm2008/msg00174.htm> [Stand: 28.10.2008].

Kopp 2008

Kopp, R.: „Vom Material zum Produkt“. In: Höcker, H. (Hrsg.): Werkstoffe als Motor für Innovationen, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2008 (acatech DISKUTIERT), S. 25-38.

Max-Planck-Gesellschaft 2004

Max-Planck-Gesellschaft: European White Book on Fundamental Research in Material Science. URL: http://www.mpg.de/pdf/europeanWhiteBook/wb_materials.pdf [Stand: 28.10.2008].

National Institute for Material Science 2007

National Institute for Material Science: A Vision of Materials Science in the Year 2020. URL: <http://www.nims.go.jp/eng/news/nims2020/2020.pdf> [Stand: 28.10.2008].

Portella 2008

Portella, P. D.: „Die Bundesvereinigung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“. In: Höcker, H. (Hrsg.): Werkstoffe als Motor für Innovationen, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2008 (acatech DISKUTIERT), S. 21-23.

Roadmapping 2008

Universität Kassel, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften: Roadmapping Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. URL: http://www.uni-kassel.de/fb7/ibwl/weissenberger-eibl/MatWerk/MatWerk_start.html [Stand: 28.10.2008].

Rühle 2001

Rühle, M.: Introduction. In: Max-Planck-Gesellschaft 2004.

Rühle et al. 2001

Rühle, M. et al.: Executive Summary. In: Max-Planck-Gesellschaft 2004.

Ruge und Wohlfahrt 2007

Ruge, J./ Wohlfahrt, H.: Technologie der Werkstoffe. Herstellung, Verarbeitung, Einsatz, 8. Aufl., Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag, 2007.

Ruhr-Universität Bochum 2008

Pressemitteilung der Ruhr-Universität Bochum: ICAMS an der Ruhr-Universität offiziell eröffnet. URL: <http://www.pm.rub.de/pm2008/msg00174.htm> [Stand: 28.10.2008].

ThyssenKrupp 2008

Pressemitteilung der ThyssenKrupp Steel: ICAMS an der Ruhr-Universität offiziell eröffnet. URL: <http://www.thyssenkrupp-steel.com/de/presse/pressrelease.jsp?cid=2776043> [Stand: 28.10.2008].

VDI Technologiezentrum 2008

VDI-Technologiezentrum GmbH: Innovationshemmnisse im Bereich Werkstoffforschung und -entwicklung (Reihe „Zukünftige Technologien Consulting“, Bd. 77), Düsseldorf, im Erscheinen 2008.

Weber 2008

Weber, M.: „Werkstoffinnovationen am Beispiel der Automobilindustrie“. In: Höcker, H. (Hrsg.): Werkstoffe als Motor für Innovationen, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2008 (acatech DISKUTIERT), S. 53-58.

Winnacker 2008

Winnacker, A.: „Werkstoffforschung und Industrienachfrage am Beispiel elektronischer Werkstoffe“. In: Höcker, H. (Hrsg.): Werkstoffe als Motor für Innovationen, Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verlag, 2008 (acatech DISKUTIERT), S. 47-52.

Wissenschaftsrat 2007

Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Interaktion von Wissenschaft und Wirtschaft, Köln, 2007. URL: http://www.wissenschaftsrat.de/texte/interaktion_wiwi_2007.pdf [Stand: 28.10.2008].

> **acatech – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN**

acatech vertritt die Interessen der deutschen Technikwissenschaften im In- und Ausland in selbstbestimmter, unabhängiger und gemeinwohlorientierter Weise. Als Arbeitsakademie berät acatech Politik und Gesellschaft in technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Zukunftsfragen. Darüber hinaus hat es sich acatech zum Ziel gesetzt, den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu erleichtern und den technikwissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern. Zu den Mitgliedern der Akademie zählen herausragende Wissenschaftler aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. acatech finanziert sich durch eine institutionelle Förderung von Bund und Ländern sowie durch Spenden und projektbezogene Drittmittel. Um die Akzeptanz des technischen Fortschritts in Deutschland zu fördern und das Potenzial zukunftsweisender Technologien für Wirtschaft und Gesellschaft deutlich zu machen, veranstaltet acatech Symposien, Foren, Podiumsdiskussionen und Workshops. Mit Studien, Empfehlungen und Stellungnahmen wendet sich acatech an die Öffentlichkeit. acatech besteht aus drei Organen: Die Mitglieder der Akademie sind in der Mitgliederversammlung organisiert; ein Senat mit namhaften Persönlichkeiten aus Industrie, Wissenschaft und Politik berät acatech in Fragen der strategischen Ausrichtung und sorgt für den Austausch mit der Wirtschaft und anderen Wissenschaftsorganisationen in Deutschland; das Präsidium, das von den Akademiemitgliedern und vom Senat bestimmt wird, lenkt die Arbeit. Die Geschäftsstelle von acatech befindet sich in München; zudem ist acatech mit einem Hauptstadtbüro in Berlin vertreten.

Weitere Informationen unter www.acatech.de

> **DIE REIHE „acatech BEZIEHT POSITION“**

In der Reihe „acatech bezieht Position“ erscheinen Stellungnahmen der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften zu aktuellen technikwissenschaftlichen und technologiepolitischen Themen. Die Veröffentlichungen enthalten Empfehlungen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft. Die Stellungnahmen werden von acatech Mitgliedern und weiteren Experten erarbeitet und dann von acatech autorisiert und herausgegeben.