



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

 DIE NEUE
HIGHTECH
STRATEGIE
Innovationen für Deutschland

Vom Material zur Innovation

Rahmenprogramm zur Förderung der Materialforschung



Inhalt

Vorwort	3
1 Kurzfassung	4
2 Schlaglichter: Potenziale neuer Materialien	6
3 Ziele des Programms und Förderkonzept	14
4 Werkstoffe: Fakten, Ausgangssituation und Prognosen	20
5 Herausforderungen für zukünftige Werkstoffentwicklungen	28
5.1 Werkstofftechnologien	29
5.1.1 Werkstoffplattformen	29
5.1.2 Prozess- und Fertigungstechnik	35
5.1.3 Querschnittsthemen	37
5.2 Materialinnovationen für Anwendungsfelder	38
5.2.1 Werkstoffe für die Energietechnik	38
5.2.2 Nachhaltiger Umgang mit Rohstoffen und Materialien	40
5.2.3 Werkstoffe für Mobilität und Transport	42
5.2.4 Materialien für Gesundheit und Lebensqualität	45
5.2.5 Werkstoffe für zukünftige Bausysteme.....	46
6 Forschung verzahnen – Wirkung steigern	48
7 Internationale Zusammenarbeit	50
8 Durchführung des Programms	52
Anhang 1: Vernetzung mit anderen Förderprogrammen und Ressorts	56
Anhang 2: Außeruniversitäre Forschung mit Bezug zur Materialforschung	58
Impressum	61

Vorwort

Dieses Programm steht für das Ziel, Deutschland auf dem Weg zum weltweiten Innovationsführer voranzubringen. Gute Ideen sollen schnell in innovative Produkte und Dienstleistungen überführt werden. Denn innovative Lösungen sind die treibende Kraft für Wohlstand und Lebensqualität. Sie stärken Deutschlands Position als führende Wirtschafts- und Exportnation. Und sie ermöglichen es, kreative Antworten auf die drängenden Herausforderungen zu finden. Das Förderprogramm „Vom Material zur Innovation“ greift diese Ausrichtung auf und orientiert sich am Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung und Wirtschaft, die Innovationen in Verantwortung für die heutigen und kommenden Generationen schafft.

Innovationen aus der Materialforschung sind ein Schlüssel bei der Lösung von Zukunftsaufgaben. Neue Werkstoffe helfen, die Material- und Energieeffizienz zu steigern, die Lebensqualität zu verbessern und die

Wettbewerbsfähigkeit der Industrie zu erhöhen. Immer kürzere Innovationszyklen, die auch durch neue Technologien, wie z. B. computergestützte generative Fertigungsverfahren wie der 3D-Druck, bedingt sind, verändern die traditionelle Struktur der Produktion und der Wirtschaft insgesamt. Damit aus vielversprechenden Materialien innovative Produkte werden, sind Kooperationen von Wissenschaft und Wirtschaft und eine interdisziplinäre Vernetzung erforderlich.

Mit der öffentlichen Forschungsförderung initiiert und unterstützten wir diese notwendige Zusammenarbeit. Wir laden Unternehmen und Forschungseinrichtungen ein, unsere Gesellschaft mit technischem und sozialem Fortschritt aktiv zu gestalten. Mit dem Förderprogramm „Vom Material zur Innovation“ schaffen wir den erforderlichen Rahmen.

Ihr Bundesministerium für Bildung und Forschung

1 Kurzfassung

Das Fachgebiet der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik ist nach wie vor ein entscheidender Innovationstreiber für fast alle Lebens- und Technikbereiche. Moderne Werkstoffe erhöhen den Wirkungsgrad von Solarzellen und Kraftwerken, verringern den Verbrauch von Kraftfahrzeugen, ermöglichen die Elektromobilität und reduzieren somit Abgasemissionen. Sie wirken daher dem Klimawandel entgegen und erhöhen insgesamt die Ressourceneffizienz in Industrie und Gesellschaft. Ebenso steigern neue Werkstoffe, z. B. in der Medizintechnik durch langlebige und biokompatible Implantate, die Lebensqualität der Menschen erheblich. Insofern tragen die Ergebnisse der Materialforschung mit immer wieder neuen Funktionalitäten und Leistungssprüngen ganz wesentlich zu einem nachhaltigen Wirtschaften und zu mehr Lebensqualität und Wohlstand in unserer Gesellschaft bei.

Um indes von einem aussichtsreichen Material zur eigentlichen Innovation in der Anwendung zu gelangen, braucht das stark interdisziplinäre Fachgebiet der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik ein hohes Maß an Vernetzung und Kooperation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft sowie eine langfristige Unterstützung durch die öffentliche Hand. Das Förderprogramm „Vom Material zur Innovation“ des BMBF setzt die erfolgreichen Förderstrategien des Vorgängerprogramms „Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING“ fort und verfolgt mit einer langfristig angelegten Förderung die Zielsetzungen:

- Stärkung der industriellen Wettbewerbsfähigkeit durch werkstoffbasierte Produkt- und Verfahrensinnovationen
- Berücksichtigung des gesellschaftlichen Bedarfs an Werkstoffentwicklungen
- Schaffung von Anreizen zur Erhöhung der FuE-Intensität in den Unternehmen
- Ausbau einer umfassenden industriellen und institutionellen Material- und Fertigungskompetenz; Qualifizierung von wissenschaftlichem Nachwuchs

Daraus abgeleitet bietet das Programm gezielte Unterstützung sowohl für neue Materialentwicklungen für ganz unterschiedliche Produktspektren als auch für den



spezifischen Bedarf an Werkstofftechnologien in den Anwendungsfeldern. Da auf dem Weg vom Material zum Produkt häufig die Prozess- und Fertigungstechniken entscheidend für die Werkstoffeigenschaften und die späteren Produktkosten sind, werden sich die geförderten Projekte innerhalb des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks orientieren: von der Herstellung der Grundstoffe über die Verarbeitung der Werkstoffe bis zur Anwendung in Bauteilen und Systemen.

Die Förderung richtet sich an Kooperationsprojekte zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Insbesondere sollen kleine und mittelständische Unternehmen noch stärker als bisher in den Innovationsprozess eingebunden sowie wissenschaftliche Nachwuchskräfte qualifiziert werden. In den Förderprojekten müssen die Aspekte der Nachhaltigkeit berücksichtigt und eine klare Verwertungsstrategie von FuE-Ergebnissen für neue Produkte oder Verfahren erkennbar werden.



Zur Erreichung der übergeordneten Ziele und unter Berücksichtigung der ausgeprägten Komplexität und Interdisziplinarität des Werkstoff-Fachgebietes ergeben sich daraus die folgenden Förderleitlinien des Programms:

- Werkstoffplattformen mit den integrierten Fertigungstechniken, die zu Produkt- und Verfahrensinnovationen in einem breiten industriellen Umfeld führen können
- Werkstoffinnovationen in bedeutenden Anwendungsfeldern, wie z. B. in Energie, Verkehr und Medizin, im Bauwesen oder im Maschinen- und Anlagenbau
- Nachhaltiger und effizienter Umgang mit Ressourcen wie Rohstoffen, Materialien und Energie
- Branchenübergreifende Kooperationen zwischen Wirtschaft und Wissenschaft zur Initiierung von Wertschöpfungsnetzwerken

Das Förderkonzept wird auf der Ebene konkreter Projekte mit entsprechender thematischer Schwerpunktsetzung überwiegend durch Bekanntmachung von Förderrichtlinien umgesetzt. „Vom Material zur Innovation“ wird als lernendes Programm auf sich ändernde Herausforderungen des Themenfeldes reagieren können und den Rahmen für eine längerfristig ausgerichtete flexible Förderpolitik der Bundesregierung auf dem Gebiet der Materialforschung bilden.

Mit dem Förderprogramm „Vom Material zur Innovation“ wird der Hightech-Strategie der Bundesregierung entsprochen, die beiden Stränge der Marktorientierung und des gesellschaftlichen Bedarfs auch im Bereich der Werkstofftechnologien zusammenzuführen, eine stärkere Vernetzung zwischen Wirtschaft und Wissenschaft sicherzustellen sowie eine nachhaltige Wirtschaftsweise zu verfolgen.

2 Schlaglichter: Potenziale neuer Materialien

Energiewende, Rohstoffknappheit, Urbanisierung und demografische Entwicklung stellen Politik, Gesellschaft und Industrie in Deutschland vor neue Herausforderungen. Hinzu kommt der Trend zu einer stärkeren Globalisierung von Forschungs- und Produktionsstandorten mit neuen internationalen Wertschöpfungsnetzwerken. Um die vielfältigen Aufgaben bewältigen zu können, sind Technologien gefragt, die die Gesundheit sowie den Wohlstand der Bürger erhalten, die stoffliche und energetische Ressourceneffizienz verbessern, die Wettbewerbsfähigkeit unserer Industrie erhöhen und eine nachhaltig wirkende Industriegesellschaft sicherstellen.

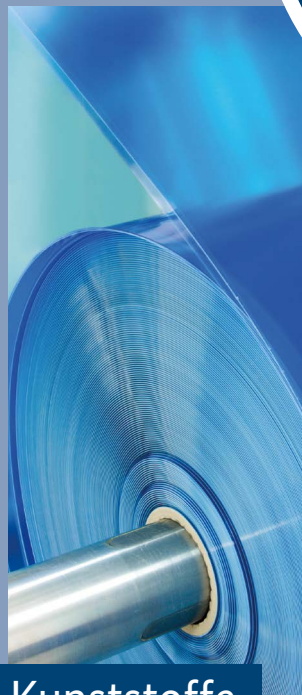
Wie kaum ein anderes wissenschaftlich-technisches Gebiet ist die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik stark interdisziplinär geprägt: Forschungsergebnisse aus der Chemie, Physik, Biologie und aus den Ingenieurwissenschaften geben der Werkstoffentwicklung immer wieder neue Innovationsimpulse, die wiederum Entwicklungsschübe in unterschiedlichen Anwendungsbereichen hervorrufen.

Die auf den folgenden Seiten dargestellten Beispiele stehen zwar nicht für die gesamte Programmbreite, geben aber einen tieferen Einblick darin, dass teils unscheinbare und für den Anwender unsichtbare Materialien und Werkstoffe häufig eine Schlüsselfunktion innehaben und zur Lösung konkreter technologischer, ökologischer und gesellschaftlicher Probleme unverzichtbar sind. Werkstoffentwicklung ist daher eine Zukunftsaufgabe: Sie ist die Basis für Wohlstand, Lebensqualität und internationale Wettbewerbsfähigkeit.

Werkstoffe



Keramik



Kunststoffe

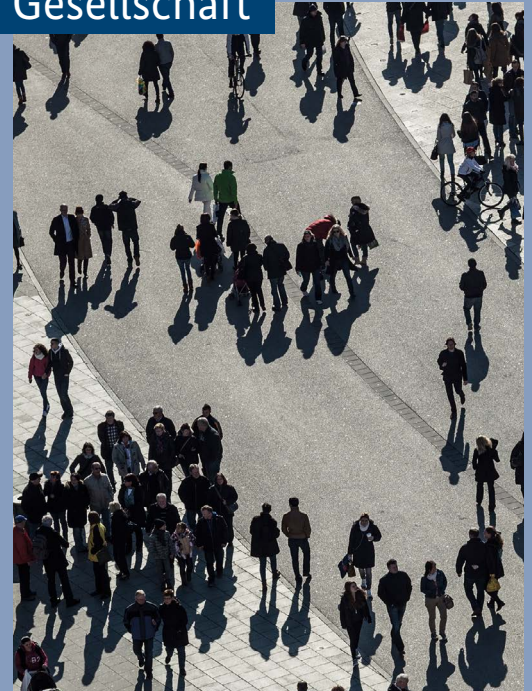


Metalle

Mobilität



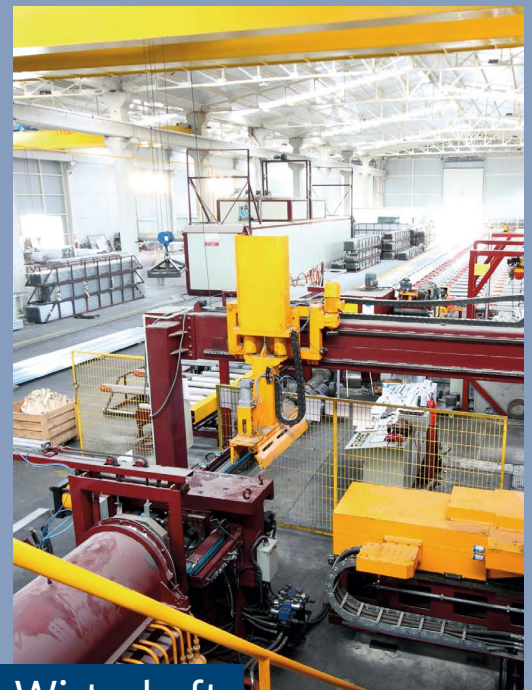
Gesellschaft



Lebensqualität



Wirtschaft



Sauberes Wasser durch Hightech-Materialien

Schadstoffe im Wasser durch Industrie und Gesellschaft

Für Mensch, Natur und Wirtschaft ist Wasser die wichtigste Ressource, die sich zwar ständig erneuert, aber auch begrenzt ist. Bedingt durch Klimawandel und Bevölkerungswachstum sowie durch Energieerzeugung, industrielle Tätigkeiten und Landwirtschaft wird es zukünftig zu einer weiteren Beanspruchung und Verschmutzung der Wasserressourcen kommen.



Materialien zur rückstandsfreien Abtrennung von Schadstoffen

Von der Wassergewinnung über die Verteilung bis zur Entsorgung, Reinigung und Aufbereitung spielen materialspezifische Ansätze eine sehr wichtige Rolle. Zur Abtrennung von Schadstoffen und zur Umwandlung von kritischen Stoffen werden verbesserte Filterwerkstoffe, hochselektive Adsorptionsmaterialien und effiziente Katalysatoren benötigt.



Auswirkungen auf die Lebensgrundlage Wasser

Es ist von einer zunehmenden Gewässerbelastung mit unterschiedlichen Schadstoffen, wie z. B. Medikamentenrückständen, Pestiziden, Salzen und Metallen sowie von übermäßiger Wassernutzung und von Klimaextremen auszugehen. Im Ergebnis ist das ökologische und chemische Gleichgewicht der Gewässer gefährdet. Die Folge können Hormonstörungen bei Lebewesen, Artensterben und Krankheiten sein.



Sauberes Wasser für Umwelt, Industrie und Gesellschaft

Wasser ist das Lebensmittel Nummer Eins. Ohne Wasser existiert keine Landwirtschaft, keine Industrie, kein Leben. Nur durch innovative Technologien mit neuen Materialien wird es möglich sein, die vorhandenen Wasserressourcen nachhaltig zu nutzen und gleichzeitig die Gesundheit von Mensch und Umwelt zu schützen.

Materialien für Energiespeicher

Elektromobil: Ausreichend weit und sicher

Deutlich höhere Reichweiten von Elektrofahrzeugen bei gleichzeitiger Langlebigkeit und Sicherheit der Batterie können nur durch Weiterentwicklungen der Materialtechnologie bei der Zellchemie und -struktur, beim Design der Batteriesysteme und bei der Ladeinfrastruktur erreicht werden. Verbesserte Batterien stellen somit die Schlüsselkomponente der Elektromobilität dar.

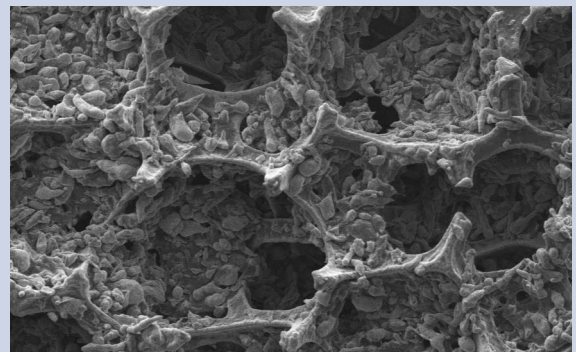


Strom zur richtigen Zeit

Der Strom aus fossilen Energieträgern ist begrenzt und Strom aus erneuerbaren Energien ist oft nicht bedarfsgerecht verfügbar. Um Wind- und Solarstrom jederzeit dort zur Verfügung zu stellen, wo er benötigt wird, gilt es, sichere Netzspeicher zu entwickeln, die möglichst große Energiemengen speichern und auch rasch wieder ins Netz einspeisen können.

Materialien zur Speicherung elektrischer Energie

Um effiziente Batterien zu fertigen und über lange Zeiträume sicher betreiben zu können, müssen Anode, Kathode, Elektrolyt, Separator und Stromableiter in der Batteriezelle perfekt aufeinander abgestimmt sein. Mit Hilfe optimierter Materialien zur elektrochemischen Energiespeicherung gelingt die Herstellung bedarfsgerechter, intelligenter Stromspeichersysteme.



Intelligente Nutzung von Strom

Strom bildet die Grundlage für unsere komfortable Lebensweise. Eine intelligente Kopplung von regenerativer Erzeugung, Speicherung und Verbrauch erlaubt elektrisches Fahren mit deutlich höheren Reichweiten und die Versorgung des eigenen Wohnumfeldes mit Strom. Mit dieser intelligenten Nutzung werden zusätzlich die Stromnetze stabilisiert.

Hygiene durch innovative Materialien

Hygiene: Eine Herausforderung auch im 21. Jahrhundert

Globalisierung und zunehmende Mobilität beschleunigen die Verbreitung von neuen Krankheitserregern. Auch die Anzahl der Infektionen mit multiresistenten Keimen in Krankenhäusern steigt stetig. Hier sind innovative materialspezifische Konzepte für mehr Hygiene gefragt.



Hygiene berührt uns in allen Lebensbereichen

In vielen Bereichen des täglichen Lebens, wie z. B. in Supermärkten, im öffentlichen Nahverkehrsbereich, an Bahnhöfen und Flughäfen sind Krankheitserreger und Allergene präsent und trotz der hohen Hygienestandards in Deutschland weiter auf dem Vormarsch. Auch die gemeinschaftliche Nutzung von Gütern trägt zur Verbreitung von Keimen bei.

Bakterien und Algen können Industrieanlagen lahmlegen

Selbst Industrieanlagen können durch Befall mit Mikroorganismen oder Algen geschädigt werden und ausfallen. Durch notwendige Reinigungs- und Reparaturarbeiten entstehen hohe Kosten. In bestimmten Bereichen, wie der Lebensmittelindustrie sind die Anforderungen an die Hygiene besonders hoch.



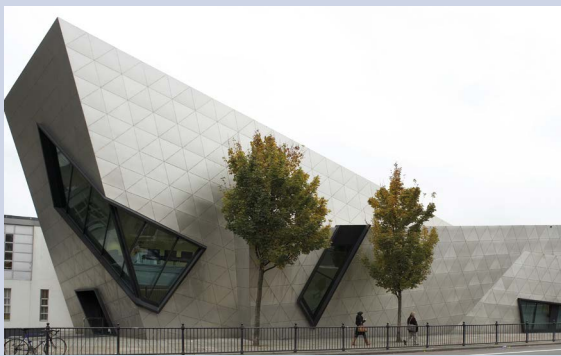
Prävention durch innovative Materialien

Die Materialforschung bietet hier innovative Lösungen, z. B. durch neuartige Filtermaterialien und antibakteriell wirkende Oberflächen, welche Produkte, die Umwelt und den Menschen vor Kontaminationen schützen. Neue Werkstoffe tragen damit in erheblichem Maße zur Prävention vor gesundheitlichen Risiken und zur Steigerung der Lebensqualität bei.

Zukunftshäuser – intelligent, komfortabel, bezahlbar

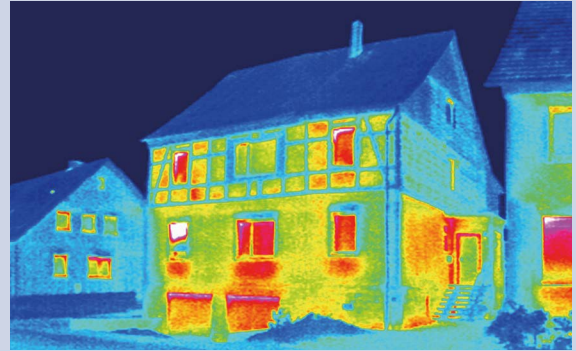
Ohne Wärmedämmung keine klimaneutrale Stadt

Neue Werkstoffe und Materialien erschließen ein enormes Energieeinsparpotenzial durch eine effiziente Wärmedämmung. Insbesondere der Gebäudebestand, der vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet worden ist und immer noch den überwiegenden Anteil der vorhandenen Bausubstanz darstellt, gilt es, wärmetechnisch zu verbessern.



Gebäude für jedes Wetter

Zukünftig benötigt unser tägliches Leben und Wohnen funktionelle und energieeffiziente Gebäude als Teil der Infrastruktur. Damit wird ein nachhaltiger Klimaschutz erreicht. Im Mittelpunkt stehen neue, dem Klimawandel angepasste Baumaterialien. Das reicht von der Wärmedämmung, der Verbesserung der Luftqualität bis hin zur Nutzung erneuerbarer Energien.



Materialentwicklungen für das Bauen im Bestand und den Neubau

Die Materialien müssen sich vielen unterschiedlichen Anforderungen stellen und deshalb multifunktionell sein. Gefordert sind z. B. Werkstoffe mit schaltbarer Wärmedämmung und Verglasung oder einer schallschluckenden Oberfläche. Dies betrifft z. B. ultrahochfeste Betone, neue Bindemittel und deutlich verbesserte Kleb- und Dichtstoffe, die voll recyclingfähig sind.



Baumaterialien für intelligente Instandhaltungskonzepte

Neue Baumaterialien müssen ressourceneffizient und für eine intelligente Instandhaltung geeignet sein. Selbstverständlich nehmen das Recycling und die Wiederverwendung eine zentrale Rolle ein. Insgesamt wird der Wohnkomfort gesteigert.

Materialien für den 3D-Druck

Hoher Ressourcenbedarf heutiger Fertigungsverfahren

Bei materialabtragenden Fertigungsverfahren, wie beim Drehen oder Fräsen, fallen bis zu 90 % der teuren Ausgangsmaterialien (z. B. im Flugzeugbau) als Produktionsabfälle an. Die mit Schmiermitteln versetzten Abfälle lassen sich nur schwer wiederverwerten und stellen oft einen erheblichen Kostenfaktor dar.



Randbedingungen derzeitiger Herstellverfahren

Mit aktuellen Verfahren lassen sich nur vergleichsweise einfache Bauteile kostengünstig produzieren, die dann zu komplexeren Strukturen bzw. Produkten zusammengefügt werden. Dies bedingt eine aufwendige Endmontage, die oft nur bei hohen Stückzahlen rentabel ist. Daher werden Bauteile an unterschiedlichen Standorten hergestellt und teilweise über lange Wege transportiert.

Ressourcenschonung durch aufbauende Fertigungsverfahren

Generative Fertigungsverfahren, wie der 3D-Druck oder das Lasersintern, bauen Fertigungsteile direkt aus Pulver auf. So wird die Materialeffizienz erhöht und Abfälle werden vermieden. Diese Verfahren erlauben die Fertigung von Bauteilen mit variablen Materialeigenschaften (z. B. Gradientenwerkstoffe) oder den Aufbau von ganz neuen Kombinationen.



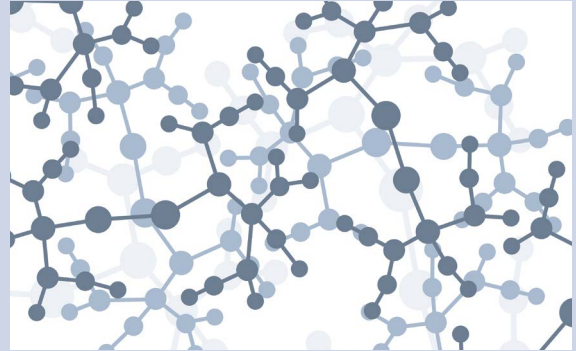
Komplexe Bauteile für individuelle Produkte

Mit generativen Verfahren können komplexe Fertigungsteile mit integrierten Funktionen bereits in geringsten Stückzahlen kostengünstig produziert werden. Weniger Bauteile erleichtern die Endmontage. Die Schnittstelle zur digitalen Produktion ermöglicht einen individuellen Zuschnitt und eine lokale Produktion. So kann das Werkstoffpotenzial bei Leichtbauteilen und Medizinprodukten effektiv ausgenutzt werden.

Neue Werkstoffe aus der virtuellen Welt

Von atomaren Strukturen zu neuen Werkstoffen

Ausgehend von kleinsten atomaren und molekularen Strukturen können heute neue Werkstoffe mit kombinierten Simulationsverfahren am Computer entworfen und getestet werden. Komplexe mathematische Gleichungen, die genaue Kenntnis atomarer Bindungen sowie passende Werkstoffmodelle sind das Handwerkszeug für die interdisziplinär arbeitenden Simulationsexperten.

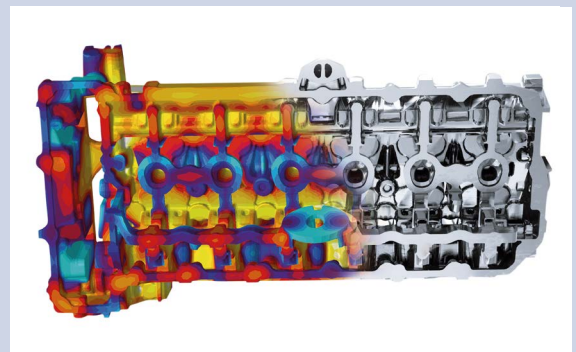


Neue Werkstoffe mit herausragenden Eigenschaften

Die Werkstoffentwickler interessieren sich z. B. für neue Zusammensetzungen mit höchster Festigkeit, enormer Korrosionsresistenz oder außergewöhnlicher Temperaturbelastbarkeit. So lassen sich Superlegierungen für die Energietechnik verbessern, die Haltbarkeit von Hüftgelenkprothesen verlängern oder neue Hybridmaterialien für den Leichtbau aufspüren.

Entwicklung und Test von Bauteilen am Computer

Durch die Multiskalensimulation, d. h. von atomaren Strukturen bis zu makroskopischen Bauteilen, gelingt es, technische Komponenten am Computer zu entwickeln, ihre spezifischen Eigenschaften in Wechselwirkung mit den Herstellungsverfahren zu optimieren und virtuell zu testen. Versagensmechanismen von Werkstoffen werden vollständig verstanden und die Sicherheit von Bauteilen erhöht.



Schneller und günstiger ans Ziel

Statt jahrelanger, experimentell aufwendiger Entwicklungsarbeiten im Labor werden zukünftig Materialeigenschaften am Rechner simuliert. Dadurch können wesentliche Hinweise für den jeweiligen Herstellungsprozess der Werkstoffe gegeben, Entwicklungszeiträume verkürzt sowie Kosten eingespart werden.

3 Ziele des Programms und Förderkonzept

Materialien und Werkstoffe sind aufgrund ihrer starken Ausstrahlung in viele Branchen Innovationstreiber und haben damit eine Schlüsselfunktion, deren Bedeutung in Deutschland immer noch unterschätzt wird. Eine starke Position in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik ist jedoch die Grundlage für die Innovationsfähigkeit unserer Industriegesellschaft und trägt entscheidend zu Fortschritten in fast allen Technik- und Lebensbereichen bei.

Wirtschaftliche Bedeutung neuer Werkstoffe

Werkstoffinnovationen sind häufig die treibende Kraft für industrielle Produktentwicklungen und wirken als Hebel für eine bessere Technologieposition deutscher Unternehmen im internationalen Wettbewerb. Dadurch nehmen moderne Werkstoffe mit ihren Fertigungstechnologien eine Schlüsselstellung im gesamten verarbeitenden Gewerbe Deutschlands ein. Die deutsche Wirtschaft ist besonders stark im Bereich der „hochwertigen Technologien“, deren Anteil an der nationalen Wertschöpfung mittlerweile 8,1 % beträgt. Dies ist im globalen Vergleich der höchste Wert und belegt die Technologiestärke Deutschlands, die insbesondere in der Wirtschaftsleistung des verarbeitenden Gewerbes zum Ausdruck kommt. Für diesen Bereich ergibt eine Auswertung des statistischen Jahrbuches aus 2012 einen Umsatz von 1,5 Bio. € (ohne Nahrungs-, Futter- und Genussmittel). Knapp 6 Mio.

Menschen sind hier tätig. Die Aufwendungen des verarbeitenden Gewerbes für Forschung und Entwicklung betragen in 2012 ca. 44,5 Mrd. €. Der überwiegende Anteil der erfassten Branchen produziert, verarbeitet oder nutzt moderne Werkstoffe. Die Mehrheit aller technischen Innovationen ist direkt oder indirekt auf neue und verbesserte Werkstoffe zurückzuführen, die somit für den Wirtschaftsstandort Deutschland eine herausragende Bedeutung mit Schlüsselfunktion haben.

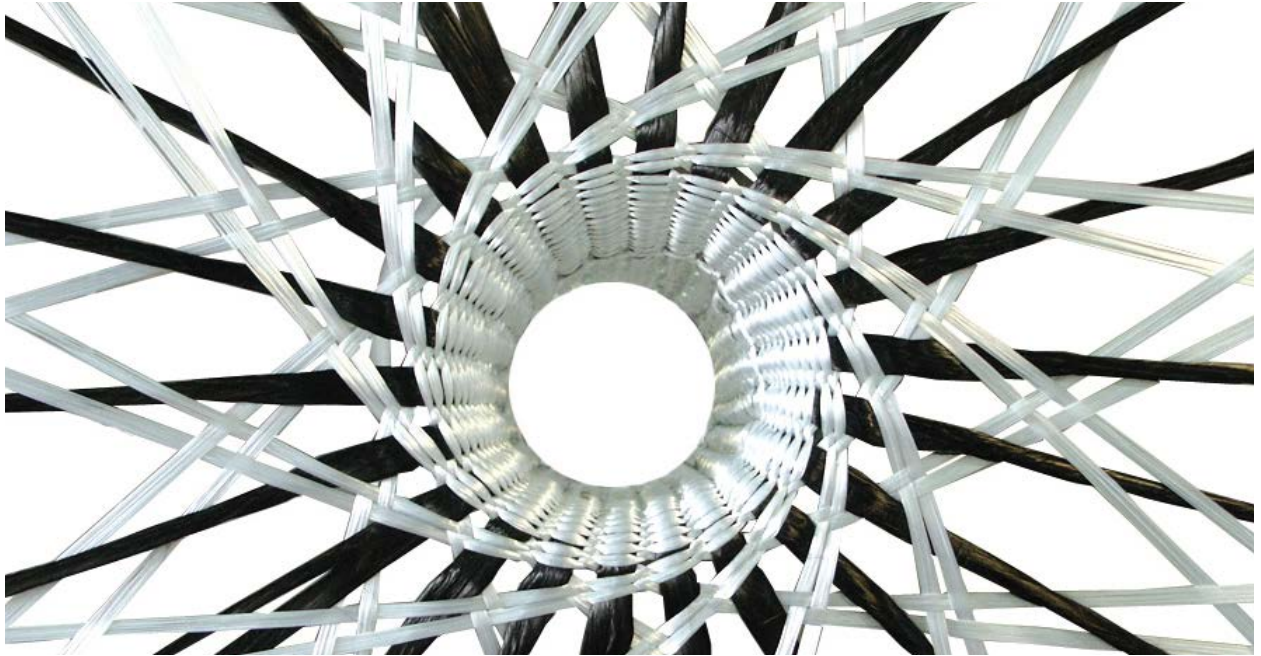
Gesellschaftliche und ökologische Bedeutung von Werkstoffen

Neben ihrer wirtschaftlichen Bedeutung tragen Werkstoffentwicklungen auch maßgeblich zur Lösung gesellschaftlicher und ökologischer Herausforderungen bei: Sie erhöhen z. B. die Wirkungsgrade von Kraftwerken und Solarzellen, verringern den Treibstoffverbrauch von Flugzeugen und Kraftfahrzeugen und reduzieren Abgasemissionen. Sie wirken daher dem Klimawandel entgegen, gestalten die Energiewende mit und erhöhen insgesamt die Ressourceneffizienz in Industrie und Gesellschaft. Ebenso steigern neue Werkstoffe erheblich die Lebensqualität der Menschen, z. B. in der Medizintechnik durch langlebige und biokompatible Implantate oder durch regenerative Therapien. Auch in der Gebäudetechnik, wie z. B. bei hocheffizienter Wärmedämmung oder in der Luftreinhaltung, leisten Innovationen im Werkstoffbereich ihren Beitrag.

Begriffsbestimmungen

Mit Materialien im Sinne des vorliegenden Programms sind Ausgangssubstanzen zur Herstellung von Werkstoffen gemeint, die ihrerseits mit speziellen Prozess- und Fertigungstechnologien für spezifische Komponenten als Teile technischer Systeme maßgeschneidert werden. Insofern gehören zum Fachgebiet sowohl die vorgelagerten Grundstoffe und chemischen Erzeugnisse als auch alle Fertigungstechniken, Oberflächenbehandlungen und Qualifizierungsschritte, die notwendig sind, um aus einem Material einen einsatzfähigen Werkstoff herzustellen. Dies schließt die Nutzung von Skaleneffekten, wie

z. B. aus der Nanotechnologie, mit ein. Die Begriffe „Material“ und „Werkstoff“ werden häufig synonym gebraucht und unter „Werkstofftechnologien“ zusammengefasst. Die relevanten universitären Studiengänge werden je nach lokaler Fakultätszugehörigkeit, Ausprägung und Historie unterschiedlich benannt, z. B.: Materialwissenschaft, Werkstoffwissenschaft, Werkstofftechnik oder Werkstoffingenieurwesen. Insofern kann eine gewisse Begriffsunschärfe bei Material und Werkstoff konstatiert werden, die sich auch in diesem Programm widerspiegelt.



Geflecht aus Glas- und Carbonfasern

Von einer verantwortungsbewussten Industriegesellschaft werden weiterhin erhebliche Steigerungen in der Rohstoff- und Energieeffizienz erwartet. Dazu leisten Forschung und Entwicklung, insbesondere auf den branchenübergreifenden Gebieten der Werkstoff- und Prozesstechnologien, entscheidende Beiträge.

Die Entwicklung neuer Technologien wird immer stärker durch gesellschaftliche Faktoren, z. B. Produktionsformen, Konsum, Lebensstile oder Infrastruktur, beeinflusst. Neben technologischen und ökonomischen Aspekten sind zunehmend ökologische Belange sowie die gesellschaftliche Wahrnehmung und Bewertung von Innovationen zu berücksichtigen. Für den Wandel von Wirtschaft und Gesellschaft hin zu nachhaltigen Lebens- und Produktionsweisen sind nicht nur technische Innovationen, sondern ggf. auch ein frühzeitiger Dialog mit der Gesellschaft notwendig.

Die globalen Rahmenbedingungen und Herausforderungen für technologische Entwicklungen haben sich erheblich verändert: Klimawandel, Rohstoffknappheit, Energiewende, Urbanisierung und demografische Entwicklungen verlangen von Politik, Gesellschaft und Industrie in Deutschland neue Antworten. Die Wirtschaftsleistung Deutschlands hängt entscheidend vom Rohstoffimport (insbesondere von Metallen) ab. Zur

Bewältigung der vielfältigen Aufgaben sind mehr denn je Technologien gefragt, die es erlauben, stoffliche und energetische Ressourcen besser zu nutzen sowie z. B. durch heimische oder regenerative Ressourcen zu ersetzen, um die Wettbewerbsfähigkeit unserer Industrie zu sichern und unseren Wohlstand zu erhalten.

Forschung und Innovation im Wandel

Werkstoffbasierte Produktinnovationen entstehen heute immer seltener in kleinen Forschungslabors, sondern in einem komplexen Zusammenspiel unterschiedlicher Disziplinen: Oft sind Chemiker, Physiker, Werkstoffentwickler und Fertigungsingenieure aus Wissenschaft und Wirtschaft gemeinsam an der Erforschung neuer Materialien bis hin zur Anwendung beteiligt. Nach der eigentlichen „Entdeckung“ müssen neue Werkstoffe sehr aufwendig geprüft, qualifiziert, ggf. zugelassen und für eine Serienproduktion im industriellen Maßstab vorbereitet werden bis sie schließlich ihren Weg in die Anwendung finden. Selbst auf dem Weg vom Prototyp bis zum Serienbauteil sind noch viele Hürden zu nehmen, die häufig einen Zeithorizont von mehr als zehn Jahren umfassen. In der heutigen Zeit bedeutet Innovation auch Erkenntnis-transfer zwischen den Disziplinen. Dabei wird es darauf

ankommen, die wesentlichen Akteure innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerkes aus Herstellung, Verarbeitung und Anwendung von Anfang an substantiell an der Entwicklungsphase zu beteiligen.

Ein weiterer Trend in der Materialentwicklung ist die zunehmende Individualisierung und Diversifizierung von Produkten, die durch neue Fertigungstechniken, wie z. B. generative Fertigungsverfahren oder Verfahren zur Herstellung von Verbundwerkstoffen oder Multimaterialsystemen, möglich wird. Diese Prozesse erlauben mittlerweile eine direkte Fertigung von sehr komplexen und auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnittenen Bauteilen ohne die sonst sehr aufwendigen Zwischenschritte. Dabei wird deutlich, dass Fertigungstechniken im Rahmen der Werkstoffentwicklung eine zunehmende Rolle spielen. Die Wechselwirkung zwischen den Synthese- und Fertigungsverfahren auf der einen Seite und den dadurch geprägten Werkstoffeigenschaften auf der anderen

Seite wird in Zukunft eine stärkere Berücksichtigung finden, um das gesamte Werkstoffpotenzial besser zu erschließen.

Leistungsfähige Innovationsstandorte sind heutzutage auf eine starke Internationalisierung mit globalem Wissensaustausch angewiesen. Durch internationale Vernetzungen mit strategischen Kooperationen werden Technologieentwicklungen beschleunigt und Märkte erschlossen. Wertschöpfungsnetzwerke werden dadurch und durch die zunehmende Integration der Digitalisierung in die Produktionsprozesse (z. B. beim 3D-Druck) immer stärker globalisiert. Auch die Werkstoffentwicklung mit der späteren Bauteilproduktion wird sich den Herausforderungen von hochautomatisierten und digitalisierten Fertigungsverfahren stellen, den Trend zur Internationalisierung berücksichtigen und die Chancen der Globalisierung für den Forschungsstandort Deutschland nutzen müssen.



Inhaltliches Förderkonzept im Programm „Vom Material zur Innovation“



Glaskeramiktropfen beim Austritt aus einem Induktionsschmelzofen (Bild ist aus gestalterischen Gründen um 180 Grad gedreht.)

Förderpolitische Zielsetzungen

Abgeleitet von den übergeordneten Zielsetzungen zur „Weiterentwicklung der Hightech-Strategie der Bundesregierung zu einer umfassenden und ressortübergreifenden Innovationsstrategie“ verfolgt das Programm über einen effektiven Technologietransfer eine schnellere Umsetzung von Forschungsergebnissen in marktfähige Produkte. Darüber hinaus orientiert sich die Werkstoffförderung an nachhaltigen Entwicklungen, die langfristig positive ökologische und ökonomische Wirkungen entfalten. Dazu gehören beispielsweise ein verringerter Rohstoffverbrauch oder die Nutzung von neuen Werkstoffentwicklungen zum Schutz des Menschen und der Umwelt vor Gefahrstoffen. Neben der Nachhaltigkeit als integrales Programmziel leiten sich aus der wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Bedeutung der Werkstofftechnologien die förderpolitischen Zielsetzungen ab.

Förderpolitische Zielsetzungen

- Stärkung der industriellen Wettbewerbsfähigkeit durch werkstoffbasierte Produkt- und Verfahrensinnovationen
- Berücksichtigung des gesellschaftlichen Bedarfs an Werkstoffentwicklungen
- Schaffung von Anreizen zur Erhöhung der FuE-Intensität in den Unternehmen
- Ausbau einer umfassenden industriellen und institutionellen Material- und Fertigungskompetenz; Qualifizierung von wissenschaftlichem Nachwuchs

Das Förderprogramm gibt finanzielle und gestalterische Hilfestellung, um die verschiedenen Stufen der Wertschöpfungsketten und -netzwerke bis zur Nutzung eines Werkstoffs abzudecken und die beteiligten Forschungs- und Entwicklungspartner mit ihren spezifischen Kompetenzen interdisziplinär zu vernetzen. Durch eine „aktivierende Förderpolitik“ wird eine breite Materialforschung in den Unternehmen initiiert und ein Mehrwert durch eine disziplin- und branchenübergreifende Vernetzung mit einem intensivierten Technologietransfer geschaffen.

Durch das gestiegene Bedürfnis unserer Gesellschaft nach mehr Sicherheit von Mensch und Umwelt wird sich die Werkstoffentwicklung stärker als bisher mit Fragen nach der langfristigen Zuverlässigkeit von Bauteilen und nach möglichen Risiken von Materialien bei der Herstellung, Verarbeitung, Anwendung und Wiederverwertung beschäftigen müssen. Der sichere Umgang mit neuen Werkstoffen sowie hohe Qualitätsstandards sind Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Erfolg und die Offenheit der Gesellschaft gegenüber neuen Technologien. Eine Förderung sieht daher vor, spezifische Materialentwicklungen mit entsprechenden Risikobetrachtungen zu kombinieren.

Förderkonzept

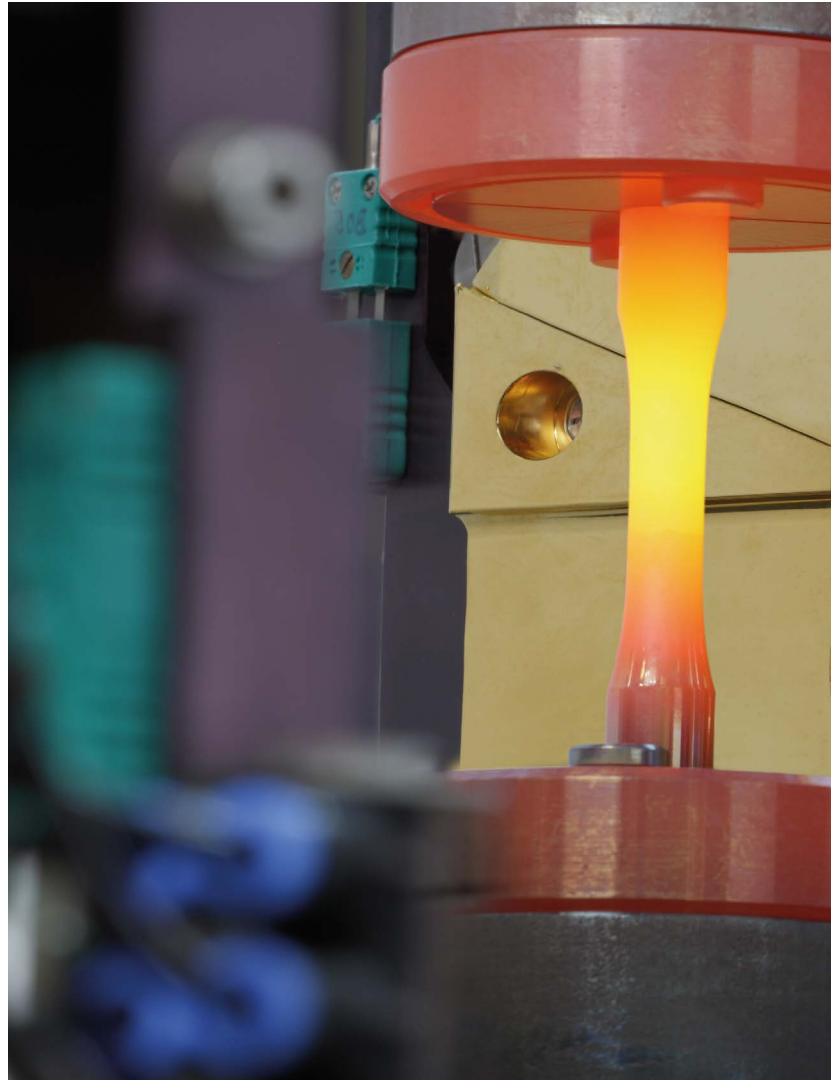
Das Konzept des Programms „Vom Material zur Innovation“ sieht vor, thematisch fokussierte Werkstoffthemen unter dem Leitgedanken der Nachhaltigkeit

überwiegend in Kooperationsprojekten zwischen Wirtschaft und Wissenschaft zu fördern, die eine hohe Bedeutung für den Industriestandort Deutschland haben und einen konkreten Beitrag zur Lösung technologischer, ökologischer und gesellschaftlicher Probleme leisten können. Die Kooperationsprojekte sollen möglichst weite Teile des Wertschöpfungsnetzwerkes abdecken – von der Materialherstellung über die Verarbeitung und Fertigung bis zur Anwendung in prototypischen Bauteilen. Dabei soll ein ganzheitlicher Forschungsansatz verfolgt werden, der auch FuE-Arbeiten im Bereich der Fertigungstechniken mit einbezieht. Die Wechselwirkungen zwischen Werkstoffeigenschaften und Fertigungstechnologien geben häufig Impulse für Innovationen, die sowohl zu verbesserten Werkstoffen als auch zu effizienteren Prozessen führen und die ggf. auch die Herstellkosten senken. Nach Möglichkeit sollen bei Materialentwicklungen von vornherein Wiederverwertungsmöglichkeiten (z. B. Zweitnutzung) bzw. Recyclingpotenziale aufgezeigt und Stoffkreisläufe berücksichtigt werden.

Vor dem Hintergrund der Ausgangssituation im Jahr 2014, der gesellschaftlichen und ökologischen Herausforderungen und unter Berücksichtigung der ausgeprägten Komplexität und Interdisziplinarität des Werkstoff-Fachgebietes ergeben sich als strategisches Profil des Programms die spezifischen Förderleitlinien.

Spezifische Förderleitlinien

- Werkstoffplattformen mit den integrierten Fertigungstechniken, die zu Produkt- und Verfahrensinnovationen in einem breiten industriellen Umfeld führen können
- Werkstoffinnovationen in bedeutenden Anwendungsfeldern, wie z. B. in Energie, Verkehr und Medizin, im Bauwesen oder im Maschinen- und Anlagenbau
- Nachhaltiger und effizienter Umgang mit Ressourcen wie Rohstoffen, Materialien und Energie
- Branchenübergreifende Kooperationen zwischen Wirtschaft und Wissenschaft zur Initiierung von Wertschöpfungsnetzwerken



Insofern nutzt das Programm sowohl den „market pull“ (Bedarf an Werkstoffentwicklungen aus Sicht der Anwendungsfelder) als auch den „technology push“ (Weiterentwicklung von Werkstoffplattformen) als parallele Innovationsmechanismen, um einerseits marktorientiert reagieren zu können und andererseits Freiräume für Neuentwicklungen zu schaffen. Damit wird der Weiterentwicklung der neuen Hightech-Strategie gefolgt, die beiden Stränge der Marktorientierung und des gesellschaftlichen Bedarfs auch im Bereich der Werkstofftechnologien zusammenzuführen.

Durch die Förderung von Kooperationsprojekten sollen der Wissens- und Technologietransfer sowie die Systemkompetenz in den Anwendungsgebieten erhöht,



noch stärker als bisher kleine und mittelständische Unternehmen in den Innovationsprozess eingebunden und eine klare Zielsetzung in der Umsetzung von FuE in neue Produkte oder Verfahren erkennbar werden. Daneben sieht das Programm vor, besonders aussichtsreiche und noch grundlagenorientierte „Saatprojekte“ sowie exzellente Nachwuchsforscher spezifisch, d. h. nicht nur durch Einbindung in Kooperationsprojekte, in potenziell anwendungsorientierten Themenbereichen zu fördern.

Aufgrund des Querschnittscharakters der Materialforschung ist das Programm eng mit weiteren Programmen des BMBF vernetzt (vgl. Anhang 1). Überall dort, wo Innovationen aus der Materialforschung entstehen – einerseits anwendungs offen, andererseits

aus werkstoffspezifischen Anforderungen der jeweiligen Anwendungsfelder – ist eine Förderung in diesem Programm vorgesehen. Daneben existieren weitere BMBF-Förderprogramme, bei denen auch Materialfragen eine besondere Bedeutung haben und dort gefördert werden. In diesen Rahmen- und Fachprogrammen steht der spezielle Anwendungsbezug (z. B. „Energieforschungsprogramm“, „Forschung für nachhaltige Entwicklungen – FONA“ einschließlich Rohstofftechnologien und Ressourceneffizienz oder „Gesundheitsforschungsprogramm“) bzw. der Forschungsbereich (z. B. „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ oder „Photonik Forschung Deutschland“) im Fokus und bildet den Schwerpunkt der Forschungsprojekte.

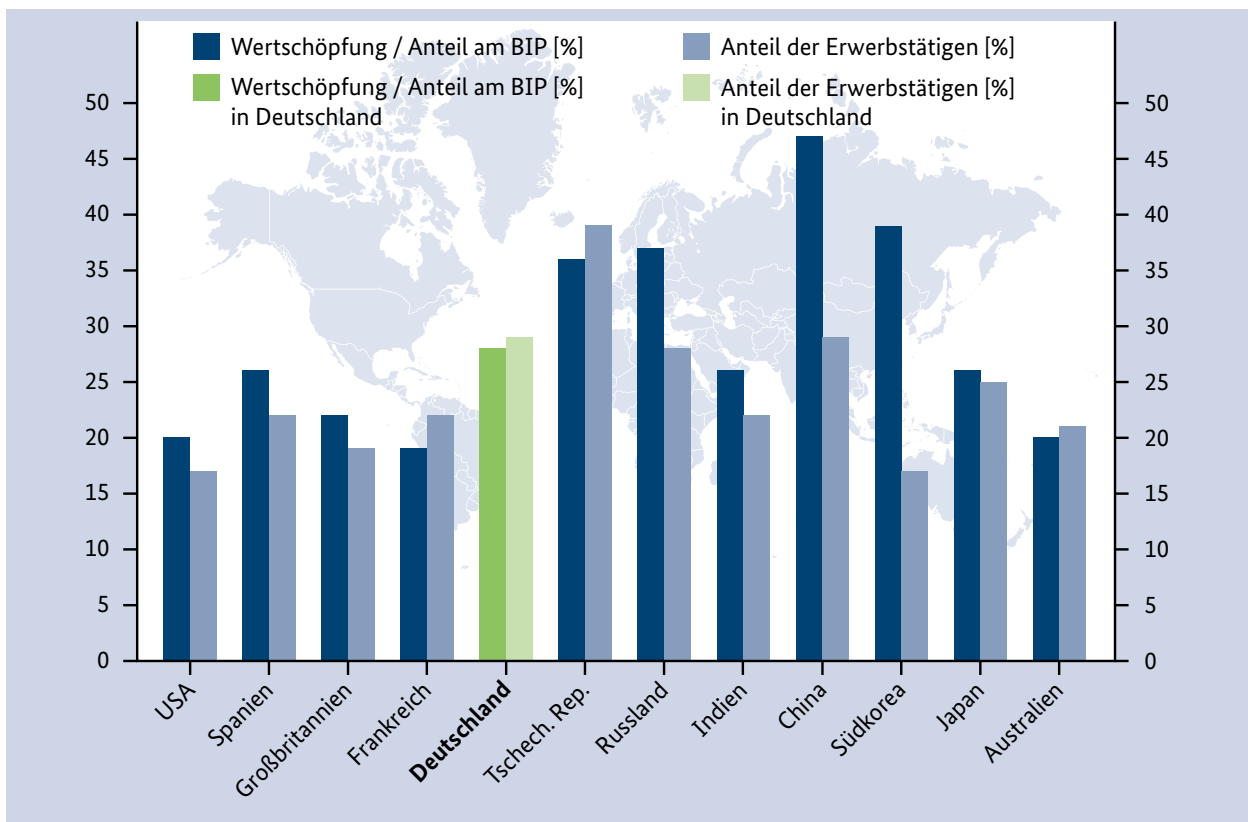
4 Werkstoffe: Fakten, Ausgangssituation und Prognosen

Volkswirtschaftliche Bedeutung innovativer Materialien

Die volkswirtschaftliche Bedeutung von Materialien und Werkstoffen lässt sich nicht allein an den Wirtschaftszahlen einzelner, direkt mit der Materialherstellung befasster Branchen wie etwa der Keramikherstellung, Kunststoffverarbeitung, Chemie oder Metallerzeugung ablesen. Als Querschnittstechnologie spielen innovative Materialien auch in anwendungsorientierten Branchen wie der Automobil- und Luftfahrtindustrie, dem Maschinenbau oder bei der Herstellung elektronischer und optischer Erzeugnisse und somit im gesamten verarbeitenden Gewerbe eine Schlüsselrolle. Darüber hinaus sind neue Werkstoffe auch in der Energie- und Wasserversorgung oder dem Baugewerbe von elementarer Bedeutung. Diese Branchen werden mit dem verarbeitenden Gewerbe zum produzierenden Gewerbe zusammengefasst.

Das produzierende Gewerbe erwirtschaftete 2012 in Deutschland 28 % des Bruttoinlandsproduktes und beschäftigte nahezu 29 % der Erwerbstätigen¹. Deutschland liegt damit vor allen westlichen Industrienationen (z. B. USA: 20 % des BIP, 17 % der Erwerbstätigen). Dieser relativ hohe Anteil wird mit als ein Grund für die vergleichsweise milden inländischen Folgen der Finanzkrise angesehen. Jedoch ist der Anteil des produzierenden Gewerbes in den westlichen Industrienationen seit vielen Jahren rückläufig, Länder in Osteuropa oder Asien weisen dagegen inzwischen oft höhere Quoten auf.

Deutschland exportierte im Jahr 2012 Waren im Wert von 1,1 Bio. €². Dabei ist das verarbeitende Gewerbe mit einer Exportquote von 45 % in besonderem Maße dem globalen Wettbewerb ausgesetzt. Gerade die umsatzstarken Branchen Automobilindustrie, Maschinenbau und chemische Industrie mit einem gemeinsamen



Bedeutung des produzierenden Gewerbes im internationalen Vergleich anhand des Anteils der Bruttowertschöpfung am Bruttoinlandsprodukt und des Anteils der Erwerbstätigen im produzierenden Gewerbe (2012)¹

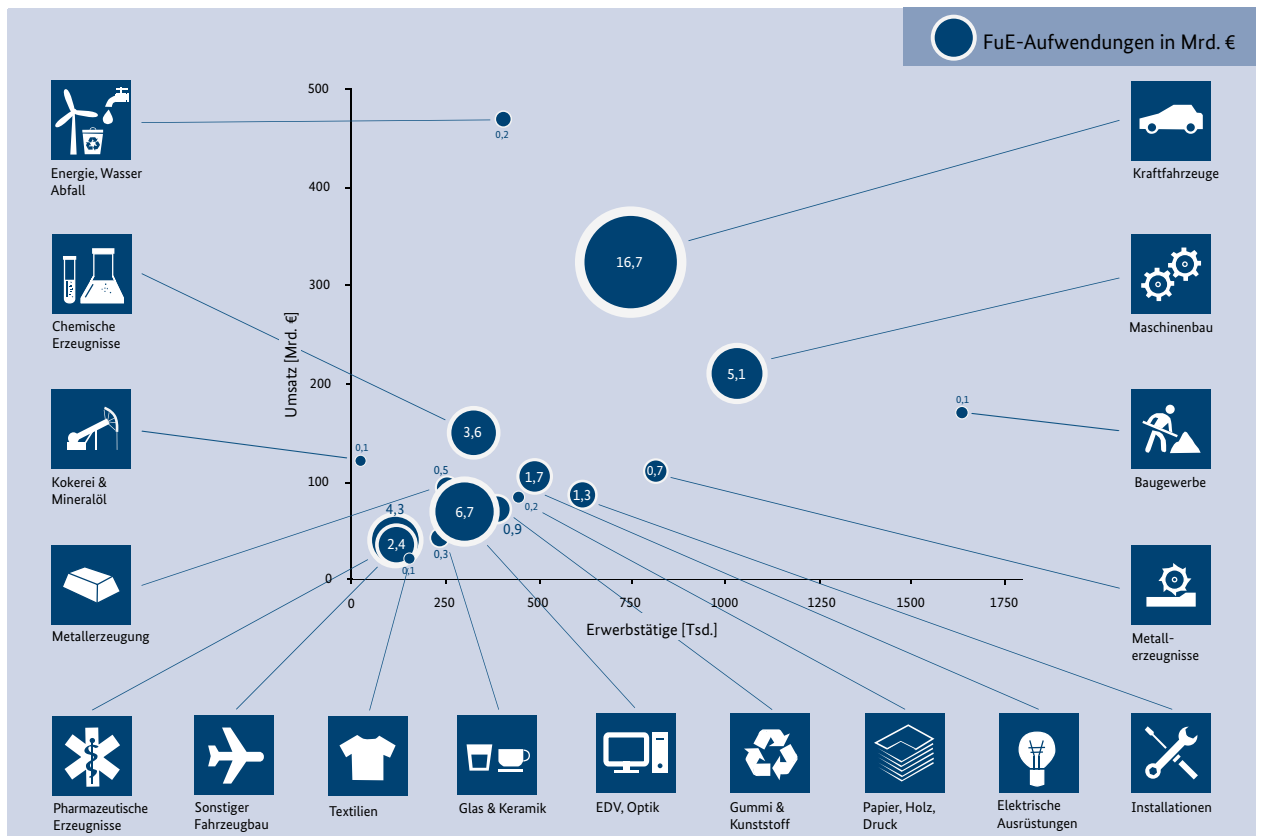
¹ Destatis Statistisches Jahrbuch 2013, Anhang A Internationales

² Statistisches Jahrbuch 2013

Umsatz von 780 Mrd. €/Jahr weisen sehr hohe Ausführeraten von 60 – 67 %¹ auf. Dabei sind Unternehmen am Hochlohnstandort Deutschland in hohem Maße auf innovative Produkte angewiesen. Deutschland liegt nach einem internationalen Vergleich des Instituts der deutschen Wirtschaft³ bei den Arbeitskosten im verarbeitenden Gewerbe auf Platz sieben. Der resultierende hohe Bedarf an FuE-Aktivitäten spiegelt sich direkt in den FuE-Aufwendungen der Firmen wider. In den Branchen mit hohem Exportanteil entsprachen 2012 die firmeninternen FuE-Aufwendungen⁴ einem Umsatzanteil von 5 % (Kraftfahrzeugbau), 7,5 % (sonstiger Fahrzeugbau) oder 10 % (pharmazeutische Industrie, Herstellung optischer und elektronischer Erzeugnisse). Entsprechend hoch ist auch der Umsatzanteil neu eingeführter oder neu entwickelter Produkte in der deutschen Industrie. In 2010 entfielen in der

Automobilindustrie 13 % des Umsatzes auf Marktneuheiten und 38,7 % auf Nachahmerinnovationen. 36 % aller Unternehmen in dieser Branche sind mit Neuheiten am Markt präsent⁵.

- Umsatz im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland (2013): mehr als 1,5 Bio. € mit knapp 6 Mio. Beschäftigten
- Wert exportierter Waren (2012): 1,1 Bio. €
- Exportquote im verarbeitenden Gewerbe (2012): 45 %
- Werkstoffe haben eine Schlüsselrolle im verarbeitenden Gewerbe.



Erwerbstätige und Umsatz im verarbeitenden Gewerbe für 2012 sowie der Energiebranche und des Baugewerbes für das Jahr 2011²
Die Größe der Kreise repräsentiert die FuE-Aufwendungen der Branche⁴

³ IW-Trends – Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung, Institut der deutschen Wirtschaft 3/2012

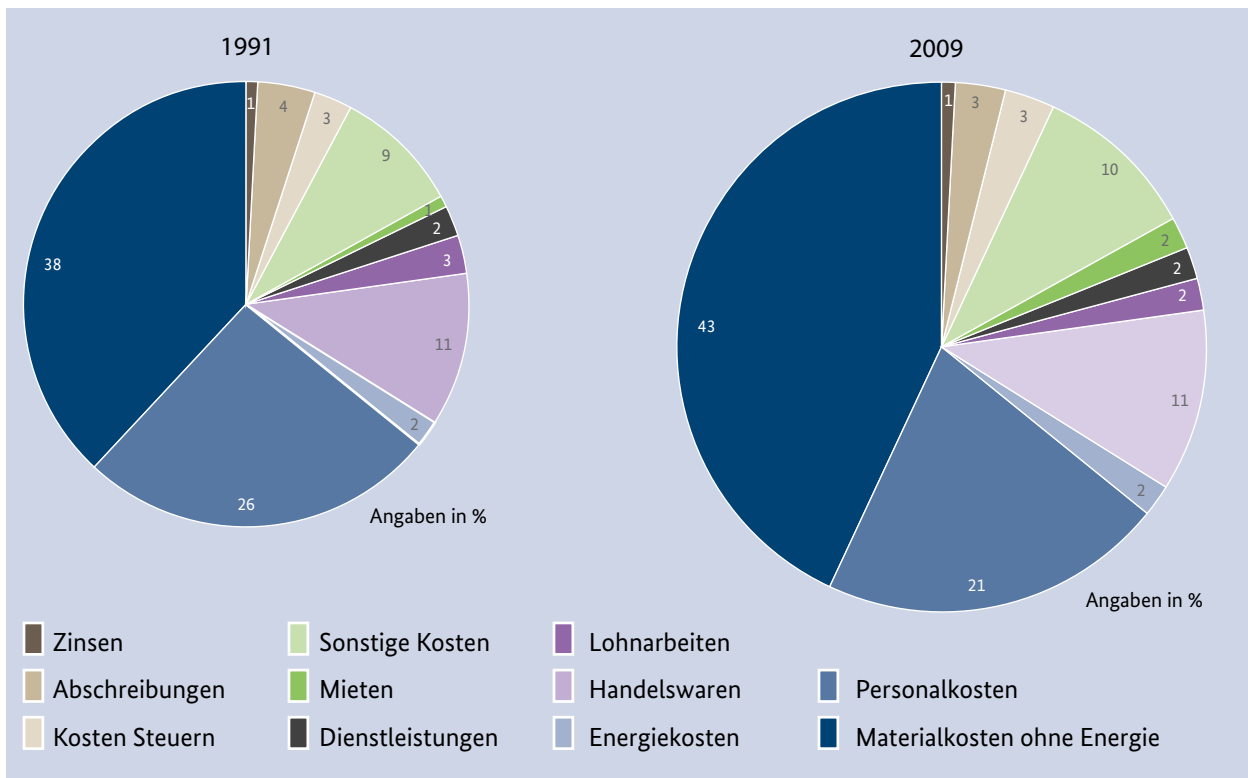
⁴ FuE-Datenreport 2013 Analysen und Vergleiche, Wissenschaftsstatistik GmbH im Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft

⁵ Branchenreport 2013, Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen, Statista GmbH & Handelsblatt GmbH

Innovative Werkstoffe sind der entscheidende Wettbewerbsfaktor

Neue Werkstoffe sind oft der entscheidende Treiber bei der Entwicklung innovativer Produkte. Schätzungen zufolge basieren heute bis zu 70 %^{6,7} aller neuen Erzeugnisse auf neuen Werkstoffen. Darüber hinaus nimmt auch die Bedeutung von Materialien als Kostenfaktor in Deutschland stetig zu. Während durch die fortschreitende Automatisierung der Anteil der Personalkosten im produzierenden Gewerbe kontinuierlich sinkt (1999: 23,4 %; 2009: 20,5 %)⁸, entfielen 2009 im Durchschnitt der Branchen des verarbeitenden Gewerbes 42,9 % des Bruttoproduktionswertes auf Materialkosten^{8,9}. Im Vergleich dazu betrug im Jahr 1991 der Materialanteil an

der Kostenstruktur in den alten Bundesländern noch 37 %¹⁰. Allein der Wert der in Deutschland verwendeten Rohstoffe belief sich im Jahr 2010 auf etwa 138 Mrd. €, wobei Rohstoffe im Wert von etwa 110 Mrd. € importiert wurden¹¹. Angesichts eines globalen Wettbewerbs, auch bei der Rohstoffversorgung, resultiert aus dem hohen Materialkostenanteil und dem signifikanten Importanteil eine große Verletzlichkeit des verarbeitenden Gewerbes. Gerade bei Zukunftstechnologien, wie der Elektromobilität, Energieversorgung oder der Telekommunikation, wird die Versorgung mit bestimmten Rohstoffen derzeit als kritisch oder sehr kritisch eingestuft (IZT)¹², so dass eine effiziente Nutzung neuer Materialien, insbesondere in diesen Bereichen, immer mehr an Bedeutung gewinnt.



Kostenstruktur im verarbeitenden Gewerbe für 1991¹⁰ und 2009⁹

⁶ Studie „Werkstoffinnovationen für nachhaltige Mobilität und Energieversorgung“, Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2014

⁷ acatech diskutiert, Werkstoffe als Motor für Innovationen, Hartwig Höcker (Hrsg.), acatech workshop, Berlin, 17. Oktober 2007

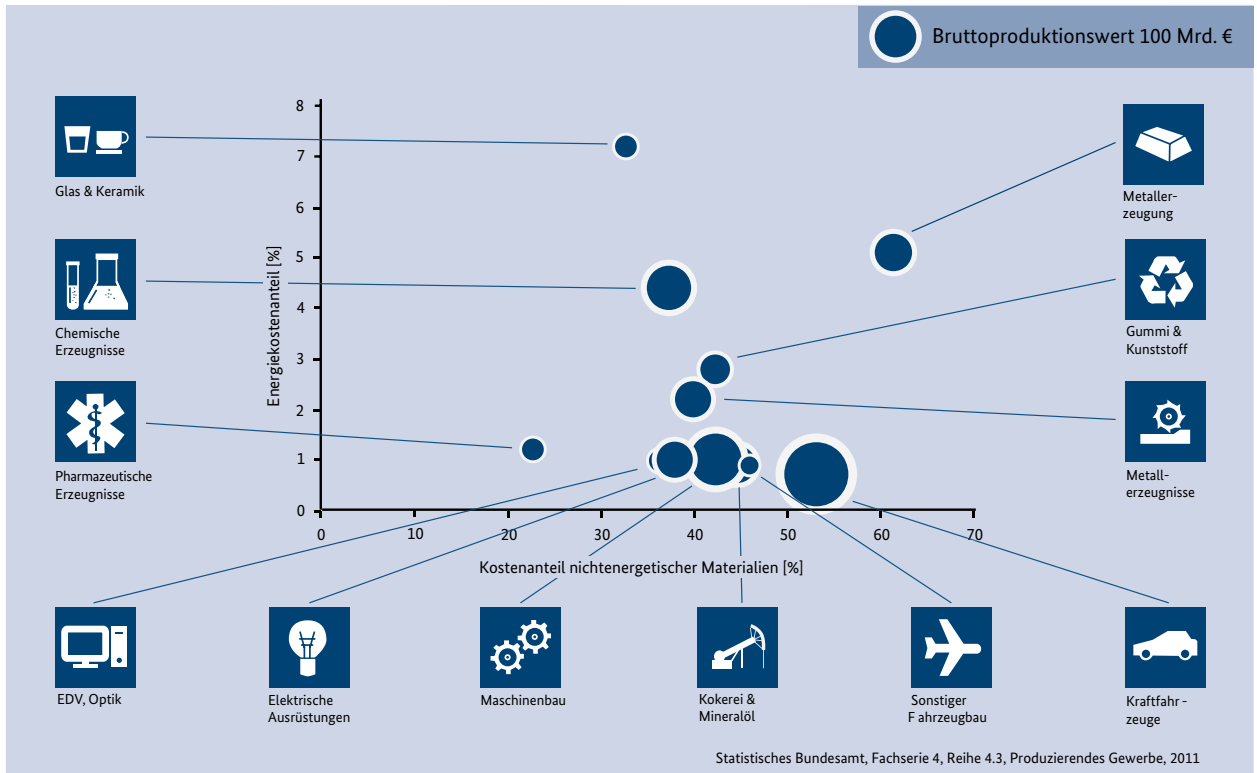
⁸ Wettbewerbsvorteil Ressourceneffizienz, VDI Zentrum Ressourceneffizienz

⁹ Statistisches Jahrbuch 2011

¹⁰ Statistisches Jahrbuch 1993

¹¹ Faktenpapier nicht-energetische Rohstoffe, Hintergrundinformationen zum IHK-Jahresthema 2012 „Energie und Rohstoffe für morgen“, Deutscher Industrie- und Handelskammertag 2011

¹² Kritische Rohstoffe für Deutschland, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT im Auftrag der KfW Bankengruppe, adelphi, Berlin, 2011



Anteil der Material- und Energiekosten am Bruttoproduktionswert in den Branchen des deutschen verarbeitenden Gewerbes¹³

Die branchenübergreifende Bedeutung innovativer Materialien zeigt sich auch in der Zahl der Patentanmeldungen. Im Jahr 2012 wurden 25 % aller europäischen Patente im Technologiefeld Chemie¹⁴ eingereicht, obwohl der Anteil der Chemiebranche am Umsatz des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland bei unter 10 % lag. Dabei entfielen 9 % der Anmeldungen auf die Bereiche Polymer- und Rohstoffchemie, Metalle und Materialien, Oberflächen- und Nanotechnologie, aus denen sich ein direkter Bezug zu Anwendungen in innovationsrelevanten Branchen (z. B. Auto, Maschinenbau, Luftfahrt) ergaben.

- Bis zu 70 % aller neuen Produkte basieren auf neuen Werkstoffen
- Materialkostenanteil im verarbeitenden Gewerbe lag 2009 bei etwa 43 % und steigt weiter an
- Deutsche Rohstoffimporte beliefen sich 2010 auf 110 Mrd. €

Prognosen zur wirtschaftlichen Bedeutung neuer Materialien und Werkstoffe

Angesichts der großen Bedeutung innovativer Materialien und Werkstoffe wird für deren Markt ein deutliches Wachstum vorausgesagt. Dies spiegelt sich in unterschiedlichen Aspekten wie der Entwicklung neuer Produkte, der Versorgung mit Rohstoffen und als Kostenfaktor im produzierenden Gewerbe wider. Ausgehend von einem Umsatz für neue und fortgeschrittene Materialien von 75 Mrd. \$ im Jahr 2008 prognostiziert eine Studie der Europäischen Kommission¹⁵ eine positive Entwicklung und einen Marktumfang von 230 Mrd. \$ für das Jahr 2030. Dabei werden insbesondere bei neuen Materialien mit breitbandiger Anwendung sowie bei solchen für den Umwelt- und Energiebereich überproportionale Umsatzsteigerungen erwartet.

Wie im Folgenden an drei Werkstoffgruppen exemplarisch gezeigt, unterscheiden sich die Prognosen für einzelne Materialklassen zum Teil deutlich. So rechnet man für carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK)

¹³ Statistisches Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 4.3., Produzierendes Gewerbe, 2011

¹⁴ Technologiefeldzuordnung nach IPC-Technologie Concordance Table

¹⁵ Technology and market perspective for future Value Added Materials, European Commission, 2012

mit einem jährlichen Wachstum von 17 % und einem globalen Marktvolumen von bis zu 20 Mrd. €/Jahr im Jahr 2020 (2012: 5 – 7,5 Mrd. €)¹⁶. Für Hochleistungskeramiken wird, ausgehend von einem Umsatz von 46 Mrd. € im Jahr 2012, ein Anstieg von 6,2 %/Jahr auf 68 Mrd. € im Jahr 2018¹⁷ erwartet. Auch für den Markt keramischer Verbundwerkstoffe (Ceramic Matrix Composites, CMC) mit einem weltweiten Umsatz von 640 Mio. € im Jahr 2010 wird bis 2015 ein kontinuierliches Wachstum von 8,3 % jährlich prognostiziert. Langfristig sollen jedoch neue Märkte für CMCs im Bereich Energie, Wärmetechnik, Luft- / Raumfahrt, Automobil und Sicherheit sowie ein zusätzliches Marktpotenzial von 1 Mrd. €¹⁸ erschlossen werden. Übereinstimmend zeigt sich in allen Prognosen die in Zukunft weiter wachsende wirtschaftliche Bedeutung innovativer Werkstoffe.

- Marktprognose für neue und fortgeschrittene Materialien für 2030: 230 Mrd. \$ mit enormem Wertschöpfungspotenzial für vielfältige Produkte
- Beispiel Keramische Verbundwerkstoffe: weltweiter Umsatz 640 Mio. €, Wachstum bis 2015 von rund 8 % jährlich prognostiziert

Herausforderungen und Chancen der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik

Das Rahmenprogramm „Vom Material zur Innovation“ greift als lernendes Programm neue Trends und Themen auf und kann so auf aktuelle Entwicklungen reagieren. Ausgehend von der gegenwärtigen Situation der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sind bereits heute die in Wirtschaft und Gesellschaft absehbaren Entwicklungen und die sich hieraus für den Werkstoffsektor ergebenden Herausforderungen und Chancen in die Programmziele eingeflossen.



Wirtschaft

Der hohe Anteil des produzierenden Gewerbes an der Wertschöpfung in Deutschland ist eine wesentliche Grundlage zur Sicherung des Wohlstands. Insbesondere bei der Fertigung forschungs- und entwicklungsintensiver Güter ist die deutsche Industrie weltweit führend. Neben international agierenden Industrieunternehmen spielen dabei hoch spezialisierte und interdisziplinär vernetzte KMU mit ihrem im internationalen Vergleich hohen Umsatz- und Beschäftigungsanteil als „hidden champions“ eine wichtige Rolle. Auch international rückt die Bedeutung des produzierenden Gewerbes, etwa durch Programme zur „Reindustrialisierung“, immer stärker in den Fokus. Wertschöpfungsnetzwerke werden zunehmend global gestaltet, was mit einer wachsenden Konkurrenz um Produktionsstandorte und Ressourcen einhergeht. Die Verlagerung von Produktionsstätten ins Ausland ist oft auch mit einer Verlagerung von Entwicklungsabteilungen und dem

¹⁶ E. Witten, B. Jahn; Composites-Marktbericht 2013; Marktentwicklungen, Trends, Ausblicke und Herausforderungen, Carbon Composites e. V., Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e. V.; 2014

¹⁷ Zukunftspotenziale von Hochleistungskeramiken, Deutsche Keramische Gesellschaft, Verband der Keramischen Industrie, Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V. 2014

¹⁸ Ceramic Composites 2050, Carbon Composites e.V., 2012

Verlust an FuE-Potenzial hierzulande verbunden. In vielen Branchen werden jedoch durch immer kürzere Produkt- und Innovationszyklen sowie steigende Umwelтанforderungen immer höhere FuE-Aufwendungen erforderlich. Darüber hinaus werden aufkommende und disruptive Technologien, z. B. in den Fertigungsverfahren oder durch die Massenproduktion von Batterien, die Struktur ganzer Industriebereiche drastisch verändern.

Bei fortschreitender Globalisierung müssen sich weltweit agierende Unternehmen mit ihren nationalen Standorten in internationalen Wertschöpfungsnetzwerken erfolgreich positionieren. Die gezielte Weiterentwicklung ausgewählter Wertschöpfungsketten im Bereich aufkommender Technologien, etwa der Elektromobilität, eröffnen dabei neue Chancen. Die exzellenten Kompetenzen in der Materialforschung hierzulande ermöglichen es den Unternehmen, neue Werkstoffe zu entwickeln und somit neue Märkte durch Hightech-Materialien und dazugehörige Verfahren zu erschließen. Internationale Märkte können auch durch ein frühzeitiges Engagement in Gremien zur Standardisierung und Normung mitgestaltet und Einsparpotenziale durch die Senkung von Materialkosten oder die

Reduktion von Entwicklungszeiten genutzt werden. Insbesondere bei der Einführung der digitalisierten Produktion und der damit verbundenen Veränderung von Fertigungsverfahren, Prozessabläufe und Logistik werden sich durch den dabei entstehenden Bedarf nach neuen Materialien vielfältige Möglichkeiten eröffnen.

Um die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit aufrechtzuerhalten, ist eine Absicherung der Rohstoffversorgung zwingend erforderlich. Durch die Entwicklung leistungsfähiger Substitutionswerkstoffe und Recyclingverfahren kann die Abhängigkeit, insbesondere von kritischen Rohstoffen, reduziert werden.

Bei der Nutzung sich eröffnender Chancen kommt der Sicherung und dem Ausbau des vorhandenen Wissens eine Schlüsselrolle zu. Durch die Erhaltung und den Aufbau von FuE-Arbeitsplätzen, vor allem in Branchen mit einer personalintensiven Forschung, können Wettbewerbsfähigkeit und Fachkräfteausbildung gesichert werden. Speziell für einen prosperierenden Mittelstand ist die Aufrechterhaltung des Innovationspotenzials in einer komplexer werdenden Umgebung von hoher Bedeutung.



Gesellschaft

Die Gesellschaft unterliegt anhaltenden und sich verstärkenden Veränderungsprozessen, die sämtliche Lebens- und Wirtschaftsbereiche erfassen. Weltweit leben immer mehr Menschen in Städten; bei wachsender Weltbevölkerung werden die Menschen immer älter; Rohstoffe werden knapp und das Klima wandelt sich. Digitale Technologien werden unsere Lebens- und Arbeitswelt auch weiterhin erheblich verändern. Um die daraus resultierenden gesellschaftlichen Herausforderungen lösen zu können, etwa für nachhaltige Mobilität und Energieversorgung, ausreichende Ernährung oder bezahlbare, gute medizinische Versorgung, kommt innovativen Materialien eine Schlüsselrolle zu.

Umgekehrt wirkt sich der gesellschaftliche Wandel auf die Leistungsfähigkeit der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Deutschland aus: Die sich verändernde Altersstruktur der Bevölkerung führt zu einem verstärkten Wettbewerb um die besten Fachkräfte und Forscher. Zusätzlich sind angepasste Ausbildungs- und Qualifizierungsprogramme erforderlich, um ein lebenslanges Lernen zu ermöglichen.





5 Herausforderungen für zukünftige Werkstoffentwicklungen

Volkswirtschaftliche Bedeutung innovativer Materialien

Das Fachgebiet „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ repräsentiert eine Schlüsseltechnologie, die Erkenntnisse aus den Naturwissenschaften Physik, Chemie und Biologie sowie aus den Ingenieurwissenschaften nutzt und die häufig entscheidende Beiträge bei der Lösung gesellschaftlicher, ökonomischer und ökologischer Fragestellungen liefert. Ausgangspunkte für Innovationen sind dabei sowohl die anwendungs-offene Materialentwicklung als auch die Herausforderungen der jeweiligen Anwendungsfelder für die Werkstoffe. Grundsätzlich treiben daher Technologie und Bedarf zugleich die Werkstoffentwicklung an. Beide Ansätze werden in diesem Rahmenprogramm verfolgt und im Folgenden näher beschrieben.

Darüber hinaus haben sich gerade in den letzten Jahren wichtige Querschnittsthemen wie Simulation und Modellierung oder Fragestellungen zur Sicherheit und Zuverlässigkeit von hochbelasteten Werkstoffen ergeben, die zum einen wichtige Hilfestellungen bei den Entwicklungsarbeiten leisten und zum anderen spezifische Anforderungen an die Qualifizierung darstellen.

Gemäß der Hightech-Strategie der Bundesregierung soll die Innovationsdynamik in der Industrie ausgebaut und somit die Wettbewerbsfähigkeit gestärkt werden. Das Programm „Vom Material zur Innovation“ orientiert sich daher an einem verbesserten Technologietransfer, an der Erschließung von Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenzialen und an den gesellschaftlichen Herausforderungen, wie z. B. Lebensqualität, intelligenter Mobilität oder Energieeffizienz.



Gestaltungsrahmen für Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in den gesellschaftlichen, ökologischen und technologischen Herausforderungen

5.1 Werkstofftechnologien

In den Werkstofftechnologien sind Entwicklungszyklen von 10 bis 15 Jahren keine Seltenheit. Zur Sicherung der Innovationsfähigkeit, insbesondere des verarbeitenden Gewerbes, reicht es daher nicht aus, Werkstoffentwicklungen nur mit dem Fokus auf aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen zu betreiben. Aufgrund der langen Innovationszyklen müssen technologiegetriebene Entwicklungen innovativer Werkstofftechnologien schon weit im Vorfeld einer möglichen Anwendung eingeleitet werden.

Vielfach zeichnen sich bestimmte Werkstoffklassen und Materialgruppen durch eine große Bandbreite an Anwendungen aus. Ein Schwerpunkt des Rahmenprogramms ist daher die Entwicklung von Werkstoffplattformen, also von Materialgruppen mit vielfältigem Anwendungspotenzial.

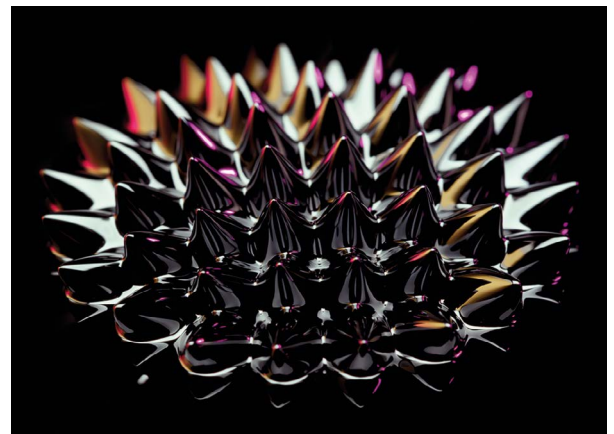
Generell werden für erfolgreiche Materialentwicklungen die jeweiligen Prozess- und Fertigungstechniken sowie unterstützende Werkzeuge der Simulation und Modellierung benötigt, um die für das Eigenschaftsspektrum entscheidende Morphologie und Strukturierung des Werkstoffs zu optimieren. Ebenso zählen zu einer Werkstoffentwicklung auch die Oberflächentechnik sowie diverse Hilfs- und Zusatzstoffe, die je nach Aufgabenstellung und gewünschtem Anforderungsprofil ein individuelles und maßgeschneidertes Materialdesign ermöglichen. Flankierend zu einer Materialentwicklung sollen dabei auch Fragen nach der Umweltverträglichkeit von Begleit- oder Zuschlagstoffen in den Fertigungsverfahren nachgegangen werden.

5.1.1 Werkstoffplattformen

Werkstoffplattformen sind Cluster unterschiedlicher Projekte zu einer Werkstofftechnologie oder Materialgruppe. Eine erfolgreiche Werkstoffplattform entwickelt Werkstoffe bis zu einem technologischen Reifegrad, der es erlaubt, verschiedene anwendungsorientierte Entwicklungen aufzugreifen. Im Folgenden werden einige Materialthemen für mögliche Werkstoffplattformen exemplarisch beschrieben.

Adaptive und intelligente Materialien

Adaptive und intelligente Materialien können auf neue Umgebungsbedingungen (z. B. Temperatur, Druck, elektrische oder magnetische Felder) mit einer Änderung ihrer mechanischen oder elektrischen Eigenschaften reagieren. Auch Phasenwechselmaterialien werden zu den adaptiven Materialien gerechnet. Sie nutzen die bei einem Phasenwechsel sich ändernden Materialeigenschaften, um zum Beispiel Wärme oder Daten zu speichern oder auch eine Temperaturänderung anzuzeigen.



Magnetische Flüssigkeit

Adaptive Materialien sind Bestandteil kompakter Aktoren, Motoren oder Sensoren. Piezoelemente, elektro- oder magnetorheologische Fluide oder Formgedächtnislegierungen werden in Greifern, Saugern, Schwingungsdämpfern oder Ventilen eingesetzt und sind zentraler Bestandteil moderner mechatronischer Systeme. Für die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung der Produktion unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ sind adaptive und intelligente Materialien von zentraler Bedeutung, denn erst kompakte, günstige und energieeffiziente Sensoren und Aktoren ermöglichen eine detaillierte Erfassung und genaue Steuerung von Fertigungsverfahren.

Zukünftige Herausforderungen an die Materialforschung liegen in der vermehrten Nutzung umwelt- und ressourcenschonender Materialien. Hier ist z. B. die Entwicklung bleifreier piezoelektrischer Werkstoffe

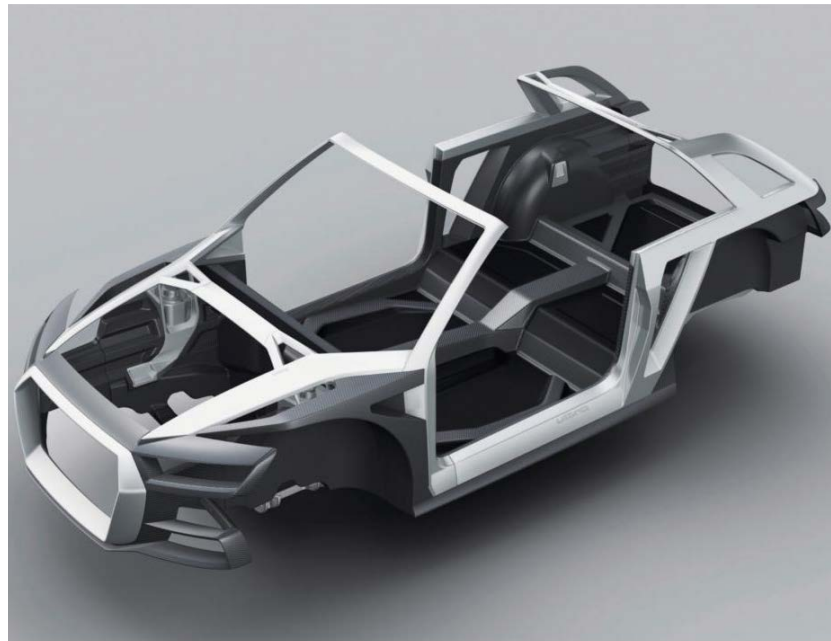
und organischer oder hybrider Systeme aus Polymeren und Polymerkompositen für künstliche Muskeln zu nennen. Intelligente Werkstoffe, in denen Mess- und Stellfunktion kombiniert sind, kommen ohne aufwendige Regelelektronik aus. Sie können etwa in aktiven Schwingungsdämpfern zum Einsatz kommen und ermöglichen als miniaturisierte Sensoren oder Aktoren flexible Bedienelemente mit haptischer Rückkopplung. So kann die Funktionalität von Touchpads erhöht oder der Tasteindruck beim Einsatz endoskopischer Werkzeuge in der Chirurgie verstärkt werden.

Hybridwerkstoffe

In Hybridwerkstoffen werden Materialien unterschiedlicher Werkstoffklassen zu einem neuen Werkstoffsystem so kombiniert, dass sich die Vorteile aller Komponenten ergänzen und/oder neue Eigenschaften möglich werden. Solche Systeme erlauben daher neuartige Anwendungen jenseits der bekannten Werkstoffe. So lassen sich die jeweils positiven Aspekte, beispielsweise von Aluminiumlegierungen und Stahl oder von Kunststoffen und Metallen, kombinieren. Hybridwerkstoffe können folglich eine sehr geringe Dichte in Verbindung mit hoher Steifigkeit aufweisen.

Bei steigenden Anforderungen an technische Werkstoffe führt oftmals nur die Kombination verschiedener Eigenschaften zu einer optimalen Lösung. Hybridwerkstoffe finden daher zunehmend im Fahrzeug- und Flugzeugbau, aber auch im Maschinen- und Anlagenbau oder in der Energiespeicherung Anwendung. Ihr Einsatz im Flugzeug- und Kraftfahrzeugbau führt zur weiteren Gewichtsreduzierung und ermöglicht damit neue Bauweisen. Die Integration von mehreren Funktionen in einem Bauteil ist ein weiterer Vorteil von Hybridmaterialien.

Notwendige Voraussetzung für die Entwicklung maßgeschneiderter Werkstoffverbunde sind grundlegende Kenntnisse über Zusammensetzung, Struktur, Synthese, Berechnungsmodelle sowie über Herstellungs- und Verarbeitungstechnologien. Hybridwerkstoffe erfordern neue Konstruktions- und Fertigungsmethoden wie etwa exakt angepasste, materialgerechte Fügetechnologien, um ihre Eigenschaftsvielfalt voll ausspielen zu können. Herausforderungen bestehen weiterhin in der Entwicklung optimierter Recyclingtechnologien, die für die vielfältigen Werkstoffkombinationen eine möglichst sortenreine Separation der Ausgangsmaterialien ermöglichen sollen.



Hybridwerkstoffe als Leichtbaumaterialien im Automobilbau



Carbon-Werkstoffe

Unter dem Begriff „Carbon-Werkstoffe“ wird eine ganze Bandbreite an Kohlenstoffmaterialien zusammengefasst, die das Potenzial zu wegweisenden Technologie- und Produktentwicklungen haben. Darunter fallen skalenübergreifend sowohl Carbonfasern, die z. B. Grundlage für carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) mit bereits realisierten hohen Marktumsätzen sind als auch Diamanten, Graphite und im nanoskaligen Bereich Carbon-Nanoröhrchen (CNT), Graphene oder Fullerene. Die Vergabe des Nobelpreises für Physik 2010 an die Professoren Geim und Novoselov für ihre Arbeiten zu Graphenen verlieh diesem Werkstofftyp einen andauernden, beeindruckenden Schub. Die Motivation für die rasante Entwicklung von Carbon-Werkstoffen liegt in deren herausragenden Eigenschaften begründet, etwa der für Leichtbauanwendungen bedeutsamen geringen Dichte bei hoher mechanischer Festigkeit, der geringen thermischen Ausdehnung oder der guten elektrischen Leitfähigkeit. Nanoskalige Carbon-Werkstoffe übertreffen mit ihren elektrischen

und thermischen Eigenschaften konventionelle Materialien deutlich. Graphene eignen sich darüber hinaus als transparente Elektrodenschichten und können zum Beispiel die Schichten auf Indiumbasis in Touchscreens ersetzen.

Der Einsatz von Carbon-Werkstoffen kann die Energie- und Rohstoffeffizienz signifikant verbessern. So setzt die deutsche Automobilbranche im Rahmen ihrer Leichtbauanstrengungen verstärkt auf Misch- und Hybridbauweisen unter Verwendung von CFK.

Aufgrund der unterschiedlichen Entwicklungsstufen, in denen sich die verschiedenen Carbon-Materialien befinden, ergeben sich entsprechende spezielle Herausforderungen. Einerseits geht es um die Weiterentwicklung zuverlässiger Prozesstechniken für eine reproduzierbare und kostengünstige Produktherstellung und andererseits um ein exakt definiertes und gezieltes Materialdesign, etwa durch Berücksichtigung von anisotropen Eigenschaften oder durch Funktionalisierung bei der Herstellung von Verbundwerkstoffen.

Wirtschaftliche Bedeutung der Werkstoffplattformen am Beispiel carbonfaserverstärkter Kunststoffe – CFK

Ein Beispiel dafür, wie innovative, forschungsorientierte Werkstoffplattformen die Entwicklungen ganzer Industriebranchen antreiben können, sind carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK). Diese Materialien, die eine sehr geringe Dichte und somit ein geringes Bauteilgewicht mit sehr hoher Festigkeit verbinden – bei gleicher Festigkeit sind CFK-Bauteile 30 % leichter als solche aus Aluminium – wurden wegen der aufwendigen Herstellung zunächst nur in Nischenanwendungen eingesetzt. Seit dem Jahr 2000 setzte jedoch eine stürmische Marktentwicklung ein, die mit einem Wachstum von 17 % pro Jahr immer noch anhält¹⁹. Der globale Bedarf an Carbonfasern lag 2012 bei 43.500 t und soll bis zum Jahr 2020 auf 130.000 t steigen. Die Produktionskapazitäten wurden 2013 auf 111.500 t weltweit aufgestockt, davon 24 % in Westeuropa²⁰. Zur Fertigung und zum Einsatz von CFK-Bauteilen hat sich ein Netzwerk aus chemischer Industrie, Textilherstellern, Maschinen- und Anlagenbauern sowie den verschiedenen Anwendungsbranchen gebildet, dessen Wertschöpfung die der reinen Faserherstellung bei Weitem übersteigt.



Beschichtung von Carbonfasern

So werden 23 % der global produzierten Carbonfasern zurzeit in der Windenergiebranche eingesetzt. Für modernste Windkraftanlagen werden die großen Rotorblätter zunehmend nur noch aus CFK hergestellt. In Deutschland wurden 2012 Windkraftanlagen im Wert von 10 Mrd. € produziert und Anlagen im Wert von 2,7 Mrd. € installiert. Inzwischen wird ein Anteil von 8,9 % am Bruttostromverbrauch²¹ in Deutschland mit diesen Anlagen gedeckt. 18 % der weltweit erzeugten Carbonfasern werden in der Luft- und Raumfahrtindustrie verwendet, die 2012 in Deutschland 28 Mrd. € umgesetzt hat²². Hier nimmt der Anteil der verbauten CFK-Bauteile beständig zu: Während im Airbus A 380 erst 25 % der Bauteile aus CFK gefertigt werden, sind es in neuesten Flugzeugtypen wie dem A 350 XWB²³ oder dem 787 Dreamliner²⁴ von Boeing bereits über 50 %. Nur ein geringer Anteil (5 %) der produzierten Carbonfasern wird derzeit im Automobilbau eingesetzt, wo CFK-Bauteile bislang nur bei Renn- und Sportwagen Verwendung fanden. Seit 2013 wird in Deutschland jedoch das erste Fahrzeug mit CFK-Karosserie in Serie gefertigt. Auch in dieser Branche mit einem aktuellen Jahresumsatz von 325 Mrd. € wird der Einsatz von CFK-Bauteilen in der Zukunft einen entscheidenden Wettbewerbsfaktor darstellen.

¹⁹ Serienproduktion von hochfesten Faserverbundbauteilen, Perspektiven für den deutschen Maschinen und Anlagenbau, Roland Berger Strategy Consultants, VDMA, 2012

²⁰ E. Witten, B. Jahn; Composites-Marktbericht 2013; Marktentwicklungen, Trends, Ausblicke und Herausforderungen, Carbon Composites e. V., Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e. V.; 2014

²¹ Erneuerbare Energien im Jahr 2013, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

²² BDLI. (Mai 2014). Umsatzentwicklung in der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie im Zeitraum von 1991 bis 2013 (in Milliarden Euro). In Statista - Das Statistik-Portal. Zugriff am 13.11.2014, von <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/12333/umfrage/umsatzentwicklung-der-luft-und-raumfahrtindustrie-in-deutschland/>

²³ A350 XWB Shaping efficiency, AIRBUS S.A.S., 2013

²⁴ C. Meier: So schwer ist's mit dem Leichtgewicht. In: Bild der Wissenschaft online. Nummer 9/2011, S.90

Katalytische Materialien

Katalysatoren sind Materialien, die eine chemische Reaktion beeinflussen: Sie senken die sogenannte Aktivierungsenergie. Dies bedeutet, dass diese Materialien viele Reaktionen begünstigen oder überhaupt erst möglich machen. Bei der Reaktion werden diese Materialien nicht verbraucht, sondern können im Idealfall immer wieder eingesetzt werden. Man unterscheidet grob zwischen der homogenen Katalyse, bei der der Katalysator im Reaktionsgemisch gelöst ist und der heterogenen Katalyse, bei der der Katalysator meist als Festkörper vorliegt.



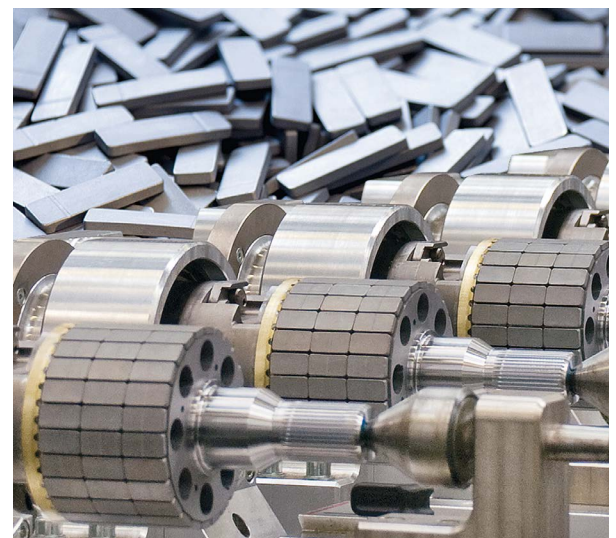
Katalysatormaterialien für die chemische Industrie

Durch diese Eigenschaften haben Katalysatoren eine enorme wirtschaftliche Bedeutung und sind an der Produktion von 85 % aller chemischen Erzeugnisse beteiligt. Die Anwendung reicht von Reaktionen, die ohne Katalysator nicht möglich sind, über solche, bei denen der Einsatz von Katalysatoren große Mengen Energie einspart, bis hin zur Abwasser- und Abgasreinigung. Bekannte Beispiele sind der Haber-Bosch-Katalysator, der die Synthese von Ammoniak ermöglicht und damit die moderne Agrarwirtschaft revolutioniert hat oder auch der Fahrzeugkatalysator, in dem giftige Abgase der Verbrennung unschädlich gemacht werden: Katalysatoren sind heutzutage ein fester Bestandteil der Chemietechnik.

Die Entwicklung neuer Katalysatoren zielt zum einen auf immer höhere Umwandlungsraten und Reaktionsgeschwindigkeiten ab, um die Ressourcenschonung und Energiebilanz einer Reaktion stetig zu verbessern. Sie sucht aber zum anderen auch nach neuen katalytischen Materialien, um spezifische chemische Reaktionen möglich zu machen. Darüber hinaus sollen neue, komplexe Katalysatormaterialien dafür sorgen, maßgeschneiderte polymere Werkstoffe und Funktionsmaterialien herstellen oder alternative Ressourcen- und Energiequellen nutzen zu können. Aktuelle Forschungsansätze setzen verstärkt auch auf den Einsatz von nanostrukturierten Materialien zur Maximierung der katalytisch aktiven Oberfläche oder der Stabilität und Kontinuität der Materialien.

Magnetmaterialien

Sowohl für Elektromotoren als Grundlage der Elektromobilität als auch in Generatoren für regenerative Energieformen spielen Magnete eine entscheidende Rolle. In der Informationstechnologie sind Magnetmaterialien unverzichtbar. Nicht nur bei den Speichermedien wie der Festplatte, sondern auch in deren Leseköpfen werden magnetische Effekte genutzt. Auch für zukünftige, lange vorhergesagte Paradigmenwechsel in der Informations- und Kommunikationstechnologie, z. B. in der Spintronik (nicht die Ladung, sondern der Spin überträgt die Information), oder bei neuartigen Speicherbauelementen (nicht die Ladung,



Hochleistungs-Permanentmagnete für Motoren

sondern die Magnetische Polarisation des Materials einer Speicherzelle speichert die Information), bieten Magnetmaterialien ein breites Leistungsspektrum. Klassisch verbindet man die Elemente Eisen, Nickel und Kobalt mit Magnetismus. Moderne Magnetmaterialien sind jedoch deutlich komplexer aufgebaut. So beinhalten sie z. B. oft eine Reihe von Seltenerdelementen, die die magnetischen Kräfte erheblich erhöhen.

Im Bereich der Permanentmagnete wird derzeit daran geforscht, den Anteil teurer Seltenerdelemente zu reduzieren, ohne auf hohe Energiedichten und Temperaturbeständigkeiten verzichten zu müssen. Der Ersatz von Neodym und insbesondere Dysprosium durch Cer wird untersucht, aber die thermische Stabilität ist derzeit noch zu niedrig. Die aussichtsreichste Lösung für diesen Problemkomplex scheint die Verwendung von Kompositmaterialien zu sein. Dabei werden weichmagnetische, d. h. gut polarisierbare Partikel in eine magnetisch stabile (hartmagnetische) Matrix eingebettet.

Biomaterialien

Biomaterialien sind die Bausteine der modernen Lebenswissenschaften. Kaum ein technologisches Konzept, das in den letzten Jahren dazu beigetragen hat, die Lebensqualität und Gesundheit der Menschen zu verbessern, kommt ohne innovative Biomaterialien aus. Sie ermöglichen die Behandlung von Krankheiten, die medikamentös nicht therapierbar sind oder helfen, eingeschränkte Körperfunktionen wieder herzustellen oder Selbstheilungsprozesse des Körpers zu stimulieren, damit Menschen auch im Alter ein aktives und selbstbestimmtes Leben führen können.

Die Funktionalität und Komplexität der Biomaterialien hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Leisteten Biomaterialien der ersten Generation noch eine rein mechanische Unterstützung, wie z. B. in Implantaten oder künstlichen Gelenken, treten moderne Varianten bereits gezielt mit ihrer Umgebung in Wechselwirkung. Dies kann durch Wirkstoffbeschichtung, Strukturierung oder durch ein biobasiertes Material erfolgen. Dieser Trend der „Biologisierung“ wird in den nächsten Jahren



Kammern des aufgeschnittenen Gehäuses einer Nautiluschnecke

weiter zunehmen, so dass Biomaterialien ganz neue Potenziale nicht nur in der regenerativen Medizin eröffnen. Dort werden Verfahren der Bioproduktion und damit die Verwendung körpereigenen Gewebes für z. B. Knorpel- oder Gefäßersatz zunehmen und den Weg zur individualisierten Therapie vorantreiben.

Bioinspirierte oder biomimetische Materialien werden den natürlichen Vorbildern in Struktur und Funktion immer ähnlicher, z. B. bei der Nachbildung von Spinnenfäden, die zehnmal dünner als ein menschliches Haar und fünfmal so reißfest wie Stahl sind. Die Eigenschaften von Biomaterialien versprechen Vorteile auch für andere zukünftige Einsatzmöglichkeiten, wie z. B. bei neuen Verpackungsmaterialien insbesondere für Lebensmittel oder auch allgemein im Bereich von hochwertigen und umweltverträglichen Einwegprodukten.

Wesentliche Herausforderungen der Materialforschung liegen hier im Bereich neuer Polymere, Keramiken oder Metalllegierungen, deren kontrollierter Struktur, Oberflächenbeschaffenheit, Funktionalisierung und Bioaktivität, aber auch zunehmend in Techniken der Zellkultur und Bioproduktion sowie der Kombination von biologischen und synthetischen Materialien.

5.1.2 Prozess- und Fertigungstechnik

Materialinnovationen ermöglichen leistungsfähigere Bauteile, schaffen neue Funktionalitäten und können die Zuverlässigkeit sowie Dauerhaftigkeit von Produkten verbessern. Ohne die dazugehörige Prozess- und Fertigungstechnik ist die heutige Materialqualität und Produktvielfalt allerdings nicht denkbar. Dies trifft in besonderem Maße auf komplexe Endprodukte zu, die aus einer großen Anzahl an unterschiedlichen Bauteilen gefertigt werden, wie z. B. im Automobilbereich. Wesentliche technologische Herausforderung ist die wirtschaftliche Herstellung und Verarbeitung, die größtenteils auf den beteiligten Prozess- und Fertigungstechniken beruhen. Betrachtet werden dabei die Energie- und Kosteneffizienz sowie der Materialeinsatz bzw. die Materialintensität insgesamt. Darüber hinaus spielen regulatorische Aspekte sowie die Recyclingfähigkeit der entstandenen Produkte eine wesentliche Rolle. Zukünftig werden durch die Integration von Prüf- und Selbstreparaturmechanismen gänzlich neue und intelligente Lösungen geschaffen.

Alle Prozesse, die zur Herstellung und Verarbeitung von Ausgangs- bzw. Rohmaterialien notwendig sind, müssen berücksichtigt werden. Darüber hinaus sind die sich anschließende Fertigung von Halbzeugen und Werkstücken sowie die Herstellung von Bauteilen und Produkten wichtig. Dabei werden physikalische, chemische und biologische Verfahren berücksichtigt, einschließlich der dazu notwendigen Apparate, Systeme und Maschinen.



Rohrbündelreaktor mit keramischen Trägern

Hohe Materialqualität durch flexible Fertigung

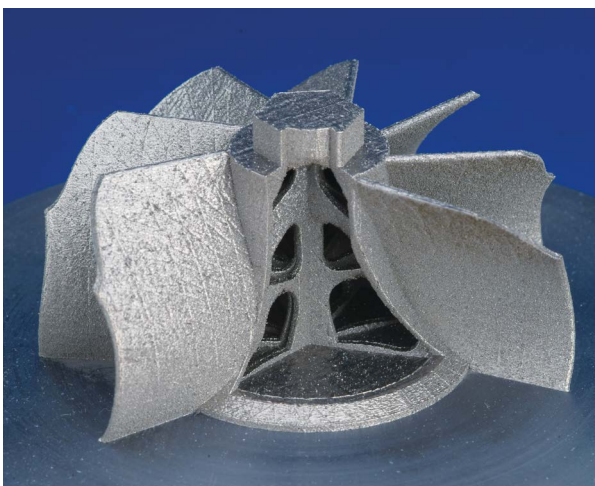
Prozesstechniken dominieren die Werkstoffqualität und die Kosten. Geringere Produktionskosten durch innovative Fertigungstechniken sind letztlich ein Standortvorteil. Häufig sind erhebliche Mehrkosten gegenüber bestehenden Lösungen ein Hauptgrund für eine geringe Marktdurchdringung. Manchmal können aber auch fehlende Recyclingrouten, wie z. B. bei hochfesten Faserverbundwerkstoffen, einen stärkeren Marktzuwachs behindern. Um aus neuen Materialien oder Materialverbänden industrielle Bauteile herzustellen, sind oft komplett neue Fertigungsverfahren notwendig.



Neben der Kostensenkung erlauben neue Prozesstechniken durch Flexibilisierung der Prozessführung auch Individualisierung und zudem die Herstellung kleinerer Serien. Darüber hinaus sind neue Mess- und Prüfprozesse, z. B. für die Qualitätssicherung von neuen Materialien, wichtig. Eine präzise Prozesskontrolle ist für die Produktsicherheit und Langzeitstabilität eine wesentliche Voraussetzung. Die Verknüpfung von bestehenden Prozessketten mit neuen Verfahrensschritten ist ein elementarer Teil der Prozesstechnik. So können z. B. diskontinuierliche Prozesse wie Chargen- oder Batchprozesse in eine kontinuierliche Prozessführung überführt werden. Hierdurch wird nicht nur die Wirtschaftlichkeit insgesamt erhöht, es steigt auch die Reproduzierbarkeit der Produktqualität, wie sie besonders bei Produkten im Gesundheitsbereich gefordert ist.

Neue Prozessschritte sind für die Entwicklung von hybriden Prozessketten, also bei der Kombination von Verfahren, notwendig und erhöhen die Materialeffizienz. Dabei können z. B. Prozessschritte, die unter unterschiedlichen Bedingungen ablaufen, gekoppelt und auf diese Weise etwa Atmosphären- oder Vakuumbedingungen, unterschiedliche Temperaturbereiche oder eine in-situ- mit einer ex-situ-Behandlung vereint werden. Ein Beispiel hierfür ist die Kombination aus Katalyse und Bioverfahrenstechniken bei Beschichtungsprozessen.

Zukünftig wird der Ersatz von manuellen durch hochautomatisierte und möglichst digitalisierbare Fertigungsverfahren prozessbestimmend werden. Aber auch endkonturnahe Fertigungsverfahren reduzieren den Materialeinsatz deutlich. Dadurch verringern sich Produktionsabfälle. Es werden zudem bisher erforderliche Prozessschritte eingespart und die Wirtschaftlichkeit erhöht. Immer stärker halten integrative Simulationstools, im Sinne eines Product-by-Design, Einzug in die Prozesstechnik. Sie bestimmen die Materialauswahl und revolutionieren damit die Material- und Verfahrensentwicklungen.



Komplexes Turbinenbauteil, hergestellt durch generative Fertigung

Durch die Erhöhung der Effizienz von Prozessen bildet die Materialforschung eine wesentliche Grundlage für die Herausforderungen bei Industrie 4.0, denn dadurch sind der Grad der Automatisierung, die Stückzahlen und die gesamte Ausbeute beeinflussbar. Das gelingt durch eine präzise Prozesskontrolle aller Teilschritte.

Intelligente Produkte durch effiziente Prozessführung

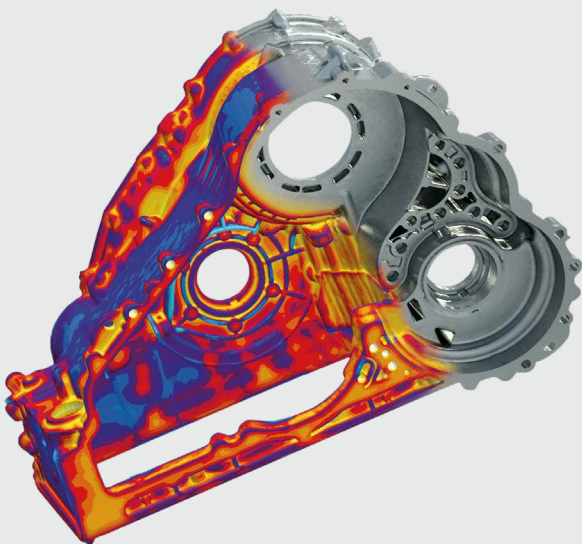
Die umfassende Beeinflussung aller Materialien und deren Eigenschaften wirken sich auf sämtliche Werkstofftechnologien aus. Dies reicht vom Beschichten, Fügen und dem gezielten Einstellen von Materialeigenschaften über das Trennen bis hin zum Umformen bzw. Urformen. In den nächsten Jahren werden die Mikro- und Nanostrukturierung, z. B. durch Selbstorganisation, zunehmend an Bedeutung gewinnen. Dabei werden neue Funktionalitäten geschaffen, wie z. B. multifunktionale Oberflächen oder atomar dünne Schichten. Eine ultrapräzise Prozesstechnik und Bearbeitung, wie sie bisher nur bei Spezialanwendungen im Optikbereich eingesetzt wird, soll für eine größere Anwendungsbreite erschlossen werden. Die verschiedensten Abscheideverfahren, bei denen Beschichtungswerkstoffe für den Reibungs-, Verschleiß- und/oder Korrosionsschutz genutzt werden, befinden sich in ständiger Weiterentwicklung. Hinzu kommen neue Ansätze für Beschichtungseigenschaften, wie z. B. die Selbstheilung beschädigter Oberflächen oder die Implementierung einer integrierten Sensorik. Die neuen generativen bzw. additiven Fertigungsverfahren, wie z. B. das 3D-Drucken, erfordern neue Werkstoffsysteme. Auch komplexeste Werkstücke und Prototypen, die auf rein computer-generierten Datenmodellen basieren, lassen sich mit diesen neuen Fertigungsverfahren herstellen.

Insgesamt gesehen ist die jeweilige Prozess- und Fertigungstechnik essenzieller Bestandteil der Materialforschung und spielt bei jedem Schritt entlang der Wertschöpfungskette, also von der Gewinnung über die Verarbeitung bis hin zum Recycling des Produktes, eine wichtige Rolle.

5.1.3 Querschnittsthemen

Simulation und Modellierung mit Multiskalenansatz

Die Entwicklung und Optimierung neuer Werkstoffe mit etablierten Methoden ist oft mit sehr hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Bei der Materialentwicklung haben in der Regel schon geringe Änderungen der Materialzusammensetzung oder -struktur drastische Änderungen der Werkstoffeigenschaften zur Folge. Um für eine neue Zielanwendung den idealen Werkstoff zu identifizieren, werden immer umfangreichere und teurere Verfahren zur Fertigung und Prüfung möglicher Materialvarianten notwendig.



Bildliche Kombination eines Gussteiles aus einer Aluminiumlegierung (Getriebegehäuse)

Links: simulierte Temperaturverteilung während der Erstarrung; Rechts: montagefertiger Zustand; die Temperaturverteilung gibt wesentliche Hinweise auf die späteren Eigenschaften und die Werkstoffstruktur des Bauteils

Neue multiskalige Simulationsverfahren erlauben es, ausgehend von der gewünschten chemischen Zusammensetzung eines Materials unter Berücksichtigung der Prozess- und Fertigungsbedingungen, die Materialeigenschaften und sogar das Verhalten daraus gefertigter Bauteile vorherzusagen. Die Kosten für die Entwicklung neuer Materialien und die Optimierung von Fertigungstechniken lassen sich so drastisch reduzieren. Durch die Erweiterung der genutzten Modelle und Methoden können Simulationstechniken für immer weitere

Werkstoffgruppen und in immer mehr Anwendungsgebieten eingesetzt und die Genauigkeit der Vorhersagen erhöht werden. In Kombination mit neuen, innovativen Produktionstechniken, wie dem 3D-Druck, wird durch Simulationstechniken eine neue, integrative Möglichkeit zur Entwicklung und Fertigung neuer Produkte geboten.

Werkstoffzuverlässigkeit, Normung und Standardisierung

Der sichere Umgang mit neuen Werkstoffen und Technologien setzt eine integrale Bewertung und Prüfung der Eigenschaften und des Verhaltens voraus. Hohe Qualitätsstandards sind die Grundlage für wirtschaftlichen Erfolg und Technologieoffenheit. Daher wird die Technologie- bzw. Werkstoffentwicklung mit der Sicherheitsbetrachtung kombiniert. Dafür erforderlich ist die Entwicklung innovativer Prüfverfahren zur Vorhersage des Materialzustandes und von Simulationsmodellen zur Bewertung der Langzeitsicherheit bzw. des Langzeitverhaltens. Durch eine materialintegrierte Bauteilüberwachung sowie durch Ermittlung von Versagens- und Schadenstoleranzindikatoren kann die Werkstoffzuverlässigkeit gesteigert werden.

Für eine spätere Umsetzung der Forschungsergebnisse ist in der Regel auch eine Normung oder Standardisierung erforderlich. Normung und Standardisierung werden zunehmend integraler Bestandteil des Forschungs- und Innovationsprozesses. Frühzeitig eingeleitet fördern sie den Transfer von Forschungsergebnissen in marktfähige



Thermografie zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung

Produkte und Dienstleistungen und den schnellen Marktzugang von Innovationen. Um diese Umsetzung und Verbreitung von Innovationen und Forschungsergebnissen zu intensivieren, werden Normungs- und Standardisierungsaktivitäten bei Bedarf ziel- und themenspezifisch unterstützt. Die hierbei erzielten Ergebnisse sind dann die Grundlage für die Erarbeitung von Normen und Standards auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene.

5.2 Materialinnovationen für Anwendungsfelder

Bei der Beantwortung gesellschaftlicher Fragestellungen spielen Werkstoffe oftmals die entscheidende Rolle. Dabei müssen interdisziplinäre Ansätze verfolgt, neuartige Werkstoffe miteinander kombiniert und unterschiedliche Lösungsansätze berücksichtigt werden. Fortschritte sind dabei nur durch eine Fokussierung auf die werkstoffbasierten Anwendungsfelder und materialklassenübergreifende Entwicklungen zu erreichen.

Im Folgenden wird der inhaltliche Handlungsrahmen des Programms für die anwendungsorientierten Materialentwicklungen exemplarisch in den Bereichen Energietechnik, Ressourcenschonung, Mobilität, Gesundheit und Lebensqualität sowie Bau aufgezeigt, denn diese Themen leisten einen entscheidenden Beitrag für die in der Hightech-Strategie der Bundesregierung formulierten Aktionsfelder.

5.2.1 Werkstoffe für die Energietechnik

Die von der Bundesregierung auf die Energiewende ausgerichtete Energieforschungspolitik fokussiert auf erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Stromnetze und Energiespeicher als Förderschwerpunkte. Grundlage der Forschungsförderung des BMBF ist das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Es sieht eine wirksame Vernetzung von Forschungsgebieten mit Energierelevanz vor. Hierzu zählt insbesondere die Materialforschung. Innovationen aus der Materialforschung entstehen einerseits anwendungsorientiert, andererseits aus werkstoffspezifischen Anforderungen der jeweiligen Anwendungsfelder. Beides wird in diesem Materialforschungsprogramm gefördert. Der Schwerpunkt liegt hier auf den Materialien.

Neue Materialentwicklungen sind unverzichtbar, um zukünftig eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung sicher zu stellen. Mithilfe neuer Werkstoffe sind Verbesserungen in der Energieeffizienz zu erreichen, ist der Stromtransport leistungsfähiger zu gestalten und können Energiespeicher optimiert werden. Dazu leistet auch das Materialforschungsprogramm des BMBF wichtige Beiträge, die in gezielten Teilbereichen über industriegeführte Verbundprojekte zu Innovationen führen sollen.

Die werkstoffspezifischen Herausforderungen für die drei Bereiche Energieversorgung, Energietransport und Energiespeicherung sind sehr vielfältig und komplex. Da jede Energieform spezifische technische Ansprüche an Erzeugung, Transport und Speicherung stellt, ist auch die Vernetzung untereinander stark vom Werkstoffeinsatz abhängig.

Energie: effizient erzeugen

Fossile Energieträger wie Kohle und Gas haben in Deutschland derzeit noch einen Anteil von ca. 60 % an der Stromerzeugung und sind nicht sofort vollständig zu ersetzen. Insofern ist bei dem bestehenden Energiemix aus regenerativen und fossilen Energiequellen auch der Betrieb von leistungsstarken und hocheffizient arbeitenden thermischen Kraftwerken von entscheidender Bedeutung. Höhere thermische Wirkungsgrade, aber auch höhere Anforderungen an die Lastflexibilität der Kraftwerke



aufgrund der volatilen regenerativen Strombereitstellung, erfordern eine Erhöhung der maximalen Arbeitstemperatur des Gesamtsystems, leichtere Bauweisen, eine höhere Korrosionsbeständigkeit der Komponenten und damit den Einsatz von Werkstoffen höchster Leistungsfähigkeit.

Insbesondere die kombinierten Gas- und Dampfkraftwerke sind eine Brückentechnologie in das Zeitalter der erneuerbaren Energien. Sie sind sehr flexibel einsetzbar, können innerhalb kurzer Zeit von Stillstand auf Volllast hochgefahren werden und so Lastschwankungen ausgleichen, die durch die Einspeisung von Solar- und Windstrom entstehen. Insofern bestehen neben dem Hauptziel der Wirkungsgradsteigerung weitere Entwicklungsziele in Richtung höherer Zykliefähigkeit (Wechsel Stillstand-Volllast-Teilast) und Beständigkeit gegenüber Korrosion in neuen Belastungsszenarien (z. B. Stillstandskorrosion an Luft).

Auch bei der Nutzung der regenerativen Energien steigen die Werkstoffbelastungen und es zeigen sich neue Schädigungsmechanismen. Beispielsweise werden bei Windkraftanlagen Turmhöhen bis zu 200 m und Rotordurchmesser von bis zu 150 m erreicht und für geplante 20 MW Offshore-Anlagen Turmhöhen von ca. 300 m bei Rotordurchmesser bis zu 280 m als realistisch angesehen. Neue leichte Rotorblätter sowie korrosionsfeste Getriebe- und Generatorwerkstoffe sind dafür erforderlich. Die Wirtschaftlichkeit, insbesondere von Offshore-Anlagen, hängt sehr stark vom Wartungsaufwand ab, den langlebige Werkstoffe erheblich senken können.

Bei der Weiterentwicklung der Photovoltaik geht es werkstoffseitig nach wie vor um flächenbezogene Wirkungsgradsteigerungen mit neuen Halbleitersystemen. Parallel werden wirtschaftlichere Solarmodule, beispielsweise mit Hilfe von Foliensilizium und gedruckte organische Solarzellen auf der Basis von Kunststoffen weiterentwickelt, deren mechanische Flexibilität auch Vorteile bei der Integration in Gebäuden aufweist. Die weitere Verringerung der Waferdicke und die Vermeidung bzw. Substitution versorgungskritischer oder toxischer Elemente sind ebenso mittelfristige materialbasierte Entwicklungsziele von PV-Modulen. Interessante Entwicklungen zur Nutzung des Sonnenlichtes zeichnen sich auch durch die



Innengekühlte Turbinenschaufeln mit Wärmedämmschichten für höchste thermische Beanspruchungen

sogenannte photokatalytische Wasserspaltung ab, bei der Wasserstoff gewonnen wird, der z. B. in Brennstoffzellen zur mobilen oder stationären Stromerzeugung genutzt werden kann.

Herausforderungen für die Materialentwicklung

- Langlebige, korrosionsfeste und temperaturbeständigere Materialien für den Heißgas- und Peripheriebereich in Kraftwerken
- Werkstoffe für Temperaturen oberhalb 1100 °C (Faserverstärkung, Oxidkeramik, Hochtemperaturmetalle), Materialien mit extremer Zyklenbeständigkeit, werkstoffbezogene Verbindungstechniken für den Hochtemperaturbereich, Hybridkonzepte
- Korrosionsresistente Getriebe- und Generatorwerkstoffe sowie Leichtbaumaterialien für Windkraftanlagen
- Werkstoffentwicklungen für hocheffiziente und wirtschaftliche Photovoltaik-Module

Energie: transportieren und speichern

Verlustarme und verlässliche Energietransportnetze werden benötigt, um Energie an einen Nutzungsstandort zu bringen. Fernnetze müssen mit besonders effizienten Stromautobahnen ausgebaut werden. Mit herkömmlichen Wechselstromleitungen sind die Verluste zwei- bis dreimal so hoch wie zum Beispiel mit der Technik der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ).

Um das volle Potenzial der regenerativen Stromerzeugung auszuschöpfen, ist eine Kombination mit effizienten Speichersystemen unerlässlich. Stromspeicher kompensieren die zeitliche Trennung von Energieerzeugung und -bedarf und stabilisieren das Stromnetz. Viele Speichertechnologien sind theoretisch bereits heute möglich, aber aufgrund fehlender Wirtschaftlichkeit, Integrierbarkeit oder Marktreife noch nicht einsatzfähig. Die Entwicklung neuer Speichertechnologien (stationäre Stromspeicher, stoffliche Speicher, Wärmespeicher) ist vor allem an neue Materialien gekoppelt und daher ein Schlüsselement.

Herausforderungen für die Materialentwicklung

- Materialien für verlustarme Energienetze mit hoher Stromtragfähigkeit (HGÜ-Netze)
- Neue Batterie-Systeme auf der Basis von Metall-Luft oder Lithium-Schwefel, Phasenwechselmaterialien
- Thermochemische und Latentwärmespeicher, nanoskalige Carbon-Werkstoffe für Wasserstoffspeicher
- Neue, an unterschiedliche stoffliche Energieträger angepasste Werkstoffe, Werkstoffentwicklungen für Gasgemische und Gastrennung (Membranen)

5.2.2. Nachhaltiger Umgang mit Rohstoffen und Materialien

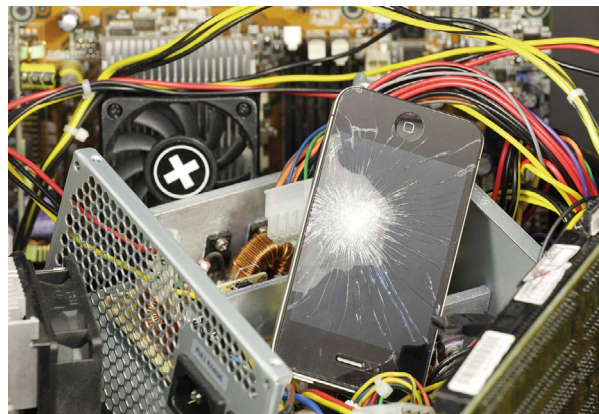
Deutschland verfügt nur über begrenzte Vorkommen an ausgewählten Bodenschätzen. Daher ist die deutsche Wirtschaft auf Importe und einen nachhaltigen sowie effizienten Umgang mit Roh- und Wertstoffen angewiesen.

Hinzu kommt die Notwendigkeit zum Umwelt- und Klimaschutz. Es gilt, den weltweiten jährlichen Verbrauch an Ressourcen wesentlich zu reduzieren und Wege zu einem nachhaltigen und damit zukunftsfähigen Umgang mit Ressourcen zu finden. Darüber hinaus muss Vorsorge in Bezug auf strategische Abhängigkeiten im Energie- und Rohstoffmarkt getroffen werden.

Die Forschungsförderung des BMBF zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen wird auch im Rahmenprogramm „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ adressiert. Ein übergeordnetes Ziel ist es, wirtschaftsstrategische Rohstoffe intelligenter und effizienter zu nutzen und so zur nachhaltigen und sicheren Rohstoffversorgung Deutschlands beizutragen.

Neue und verbesserte Materialien sind zum Erreichen dieser Ziele ein wesentliches Schlüsselement. Können knappe und teure Werkstoffe durch andere ersetzt werden? Gibt es alternative Materialien mit gleichen Eigenschaften? Können Materialien bzw. Produkte energieschonender und materialeffizienter produziert werden? Wie lässt sich die Lebensdauer von Materialien verlängern? Antworten auf diese und weitere Fragen werden zu Schlüsselkompetenzen einer zukunftsfähigen Gesellschaft.

Zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen und Sekundärmaterialien, zur Nutzung alternativer Rohstoffquellen, zur Verlängerung der Nutzungs- und Produktlebensdauer und zur Reduktion des Materialeinsatzes müssen daher Strategien zu einer echten Kreislaufführung sowie zu Substitutionsmöglichkeiten und zur Effizienzsteigerung von Materialien entwickelt werden.



Elektronikschrott enthält oft seltene und wertvolle Rohstoffe.

Eine ausreichende Ressourcenverfügbarkeit ist besonders für die Energie-, Elektro- und Antriebstechnik, die Informations- und Kommunikationstechnologie, die chemische Industrie, die Medizintechnik und den Maschinenbau von erheblicher Bedeutung. Mit dem Ziel „Ressourcen schonen – Wirtschaft und Umwelt entlasten“ gilt es, unterschiedliche Aktionsfelder zu erforschen und materialgetriebene Lösungen anzubieten.



Waggonbau: Recyclinggerechtes Design von Bauteilen ermöglicht eine hohe Wiederverwertung.

Ressourceneffizienz erhöhen

Eine effizientere Ressourcennutzung basiert auf dem Streben, das gleiche Produkt und Produktionsergebnis bei geringerem Verbrauch zu erzielen. Strategische Pfade, um diese Ziele zu erreichen, sind die Steigerung der Materialeffizienz, die Substitution knapper nicht erneuerbarer Rohstoffe, die Kreislaufführung, die Verwertung von Abfällen, die Nutzung von Sekundärrohstoffen, die Verlängerung der Produktlebens-/ Nutzungsdauer, der Einsatz von Leichtbaumaterialien sowie eine rohstoffschonende und abfallarme Produktion. Mit neuen materialspezifischen Ansätzen gilt es, die Abhängigkeit von kritischen, teuren oder toxischen Elementen zu verringern, die Betriebssicherheit und die Lebensdauer von Systemen zu erhöhen sowie den Materialkostenanteil in der Industrie durch Effizienzsteigerung zu reduzieren. Die Themen Substitution von Materialien, Materialeffizienz und Recycling sind für die Wirtschaft sehr bedeutende, aber nicht ausreichend gelöste Themen, aus denen sich wesentliche zukünftige Forschungsziele ableiten.

Herausforderungen für die Materialentwicklung

- Erhöhung der Materialeffizienz
- Entwicklung von Substituten, z. B. für Magnetwerkstoffe oder edelmetallfreie Katalysatoren
- Nutzung von Sekundärrohstoffen und Prozessabfällen (Sicherung geschlossener Wertstoffkreisläufe), Abfallminimierung, z. B. durch 3D-Druck
- Recyclinggerechtes Design von Produkten, z. B. Verbindungstechnik, die nach Gebrauch einfach trennbar ist
- Entwicklung gradierter und hybrider Werkstoffsysteme: Kombination von preiswerten Grundmaterialien mit hochwertigen Funktionsmaterialien, stärkere Funktionsintegration zur Einsparung von Komponenten
- Simulationstools, z. B. für die Berechnung angepasster Katalysatorstrukturen zur Reduzierung des Metallgehaltes
- Entwicklung selbstreparierender oder selbstreinigender Werkstoffe
- Verringerung von Verschleiß und Reibung durch neue Werkstoffe
- Erhöhung der Materialqualität und Schutz von Oberflächen
- Entwicklung und Optimierung von Leichtbauwerkstoffen

Natürliche Ressourcen schonen und intelligent nutzen

Grundlage für unser Handeln ist die Nutzung natürlicher Ressourcen (Luft, Wasser, Boden) sowie die Verarbeitung von Rohstoffen zu Wertprodukten. Für einen nachhaltigen und verantwortungsvollen Umgang mit diesen Ressourcen sind neue Lösungen gefragt, an denen Materialentwicklungen maßgeblich beteiligt sind.



Weltweit tragen Verschmutzung, übermäßiger Verbrauch oder schlechtes Management dazu bei, dass nutzbares Wasser immer knapper wird. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Wassergewinnung, dem Transport und der Verteilung bis zur Entsorgung, Reinigung und Aufbereitung spielen technologische Lösungen mit materialspezifischen Ansätzen eine zentrale Rolle. Vielfältige Einsatzmöglichkeiten bieten sich zum Beispiel in der Wasseraufbereitung, der Abwasserbehandlung oder der Grundwassersanierung.

Sowohl die Rohstoffbasis der chemischen Industrie zu sichern als auch eine nachhaltige Energiegewinnung zu gewährleisten, wird nur gelingen, wenn neue Katalysatoren zum Einsatz kommen und Prozess- und Verfahrenstechnik angepasst werden. Katalyse erschließt Wege, chemische Reaktionen so zu steuern, dass sie ressourcenschonend ablaufen und dabei die Ausbeute erhöhen, Nebenprodukte vermeiden und den spezifischen Energieeinsatz senken. Es gilt, neue Substanzklassen für katalytische Anwendungen zu erschließen, neue Methoden zur Aufklärung der Wirkungsweise von Katalysatoren bereitzustellen, die Effizienz der Katalysatorentwicklung deutlich zu steigern und neuartige Reaktorkonzepte einzuführen.

Herausforderungen für die Materialentwicklung

- Entwicklung von Filter- und Membranmaterialien für die Luft- und Wasserreinigung
- Katalysatoren und Adsorbentien für die Boden- und Grundwassersanierung
- Katalysatoren für die Erschließung neuer Rohstoff-/Werkstoffquellen, Nutzung biogener Kohlenstoffquellen
- Materialien zur Speicherung von Energie (in Form von Wasserstoff, Methan etc.)
- Prozessintegration und Miniaturisierung
- Katalysatoren zur Umwandlung von Lichtenergie in chemische Energie (Elektrolyse, Fotokatalyse) zur CO₂-neutralen Herstellung von Wasserstoff

5.2.3 Werkstoffe für Mobilität und Transport

Mobilität ist ein wesentlicher Aspekt unseres Lebens und hat einen entsprechend hohen Stellenwert sowohl für die Volkswirtschaft als auch für die individuellen Bedürfnisse. Durch die beiden Faktoren Wirtschaftswachstum und Individualisierung nimmt der Verkehr weltweit allerdings erheblich zu. Eine flexible, sichere und ressourcenschonende Mobilität gehört neben einer bedarfsgerechten Versorgung mit Energie zu den zentralen Bedarfsfeldern unserer modernen Gesellschaft und muss ökologisch, ökonomisch und sozial gestaltet werden.

Daraus erwächst die Notwendigkeit neuer, emissionsarmer Antriebstechnologien wie Elektroantriebe, die beispielsweise mit Strom oder Wasserstoff aus regenerativen Energiequellen versorgt werden. Allerdings brauchen

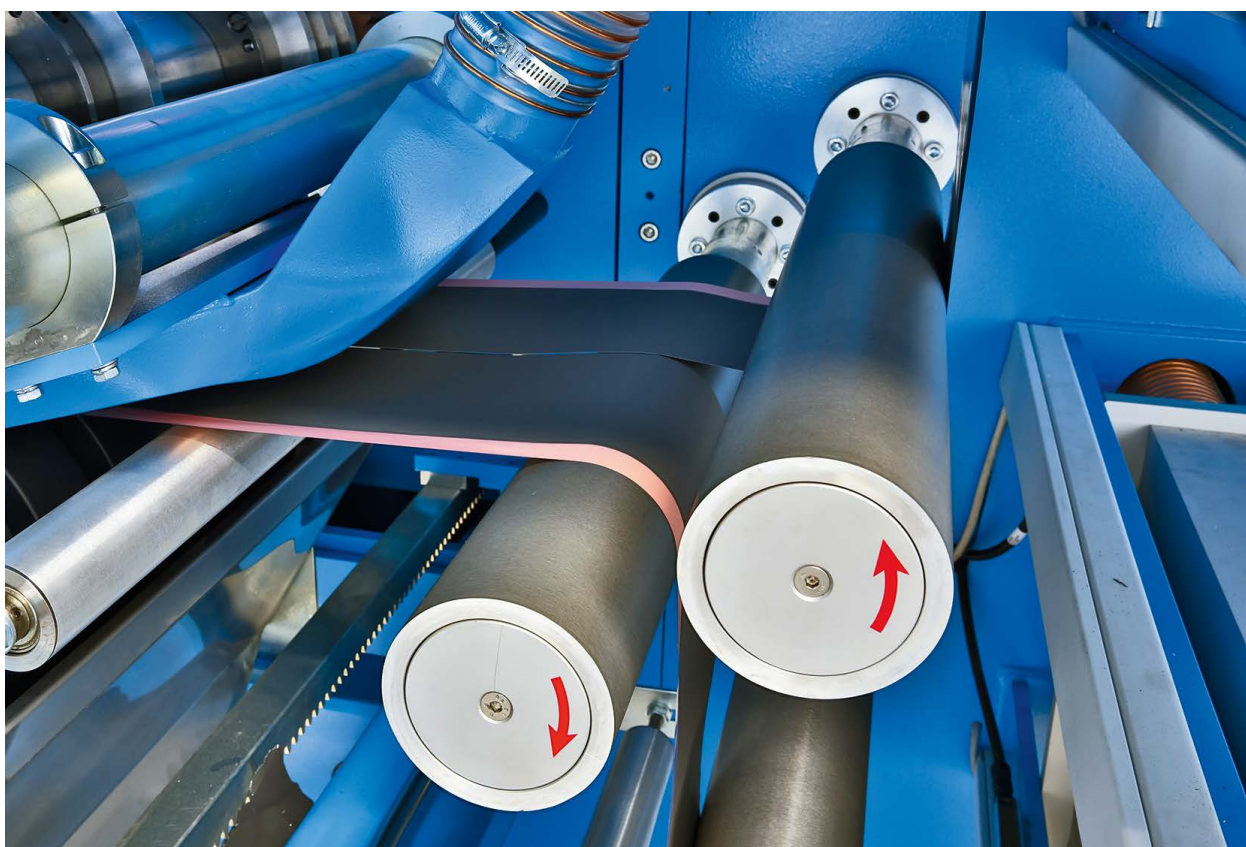
die Entwicklung dieser Technologien sowie die Umstellung auf erneuerbare Systeme noch viel Zeit. Daher ist es notwendig, kurz- und mittelfristig auch bei den bestehenden Technologien eine optimale Nutzung der Energie zu forcieren und Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung anzuwenden. Die Verkehrstechnik besitzt nicht nur eine große wirtschaftliche Bedeutung für Deutschland, sondern ist auch eine permanente Herausforderung für eine Vielzahl an notwendigen Werkstoffentwicklungen.

Neue Werkstoffkonzepte für die Mobilität von morgen

Technologische Entwicklungen im Anwendungsfeld Mobilität sind massiv durch die Zielsetzung, die CO₂-Emissionen zu senken, getrieben. Dies betrifft alle Mobilitätsformen, vom Straßenverkehr bis hin zur Luftfahrt. Neue Werkstoffe sind die Voraussetzung für die Entwicklung und den sicheren und flexiblen Einsatz neuer Mobilitätskonzepte mit modernen Energieträgern. Offensichtlichstes Beispiel hierfür ist der Weg hin zur Elektromobilität.

Elektromobiles Fahren wird dann klimaschonend, wenn es gelingt, regenerative Energien zur Nutzung im Fahrzeug verfügbar zu machen. Dabei kann die Energie aus Sonne und Wind beispielsweise in Form von Wasserstoff gespeichert und in Brennstoffzellen zu Antriebsstrom gewandelt oder direkt in Fahrzeugbatterien gespeichert werden. In jedem Fall müssen Energieträger sicher und in Mengen, die auch das Fahren längerer Strecken erlauben, im Fahrzeug untergebracht sein. Neue Werkstoffe im Bereich der Batterietechnologie und neue Batteriesysteme bieten hier großes Verbesserungspotenzial. Wichtig ist dabei, nicht nur den Werkstoff isoliert, sondern auch seine Verarbeitungsprozesse zu optimieren. Daneben gilt es, geeignete Lade- und Tanksysteme sowie neue Infrastrukturen zu schaffen, für die Werkstoffe erhebliche Beiträge liefern.

Unabhängig vom jeweiligen Antriebskonzept – Elektroantriebe, Verbrennungsmotoren oder Hybridsysteme – gilt es, zur Reduzierung des Energiebedarfs und damit zur Klima- und Ressourcenschonung das



Batteriefertigung: Längsteilung von Elektrodenbändern zur effizienten Materialnutzung

Fahrzeuggewicht zu verringern. Denn je mehr Masse bewegt werden muss, umso höher ist der Energiebedarf. In der Gewichtsreduzierung liegt eine besondere Herausforderung für die Forschung.

Für den Leichtbau im Fahrzeug- und Flugzeugbau spielt der Multimaterialansatz eine zentrale Rolle. Multimaterialsysteme können zum Beispiel aus Aluminiumlegierungen und Verbundwerkstoffen zusammengesetzt sein. Diese Kombination ermöglicht feste, leichte und dabei äußerst korrosionsbeständige Bauteile.

Die wachsende Bedeutung von Multimaterialsystemen und Hybridbauweisen erfordert die Bereitstellung neuer Fügeverfahren, wobei die Demontagefähigkeit im Hinblick auf Recycling und Wiedergewinnung der Rohstoffe berücksichtigt werden muss. Zum Erreichen von Leichtbauzielen können Werkstoffinnovationen im Bereich Funktionsintegration entscheidende Beiträge liefern.

Ein großes Potenzial zur weiteren Gewichtsreduzierung im Fahrzeugbau bieten carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) für Strukturbauteile. Hierbei ist die Entwicklung automatisierter Fertigungstechniken für eine preiswerte Fertigung mit kurzen Taktzeiten Voraussetzung für den kommerziellen Durchbruch. Die CFK-Technologie in Serienfahrzeuge zu bringen, ist eine Aufgabe, die das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk im Automobilbau betrifft.



Komplexes Alugussteil für die Automobilindustrie

Herausforderungen für die Materialentwicklung

- Neue Materialien für effiziente Antriebstechnologien
- Entwicklung und Recycling von Hybrid- und Faserverbundwerkstoffen
- Fügeverfahren für Multimaterialsysteme
- Emissionsreduzierung durch Katalysatoren, Partikelfilter, Hochleistungsschichten, tribologisch wirksame Schichten
- Sensitive und elektronische Werkstoffe zur Zustandsüberwachung und Energieeinsparung
- Werkstoffsysteme zur Rückgewinnung von Energie (Wärme, Strom)
- Bessere und neue Speicher für regenerative Energieträger (z. B. elektrochemische und H₂-Speicher) und für spezifische Verkehrsmittel und Maschinen (z. B. Biokraftstoffe)
- Selbstheilende Werkstoffe und Strukturen
- Funktionsintegration in Materialien der Verkehrsinfrastruktur (z. B. Beleuchtungssysteme, Verkehrsleitsysteme, Robotik)
- Lärmreduktion durch geeignete Dämmungsmaterialien und Kontaktflächen

Bei allen Leichtbauwerkstoffen besteht ein hoher FuE-Bedarf, um deren Eigenschaften weiter zu verbessern und sie für unterschiedliche Anwendungsbereiche zu qualifizieren. Trotz des hohen Innovationspotenzials von Faserverbundwerkstoffen werden metallische Leichtbauwerkstoffe (wie hochfeste Stähle, Aluminium oder Magnesium) auch in Zukunft eine tragende Rolle im Fahrzeugbau spielen.

Darüber hinaus erfordern die gestiegenen Beanspruchungsprofile in der Antriebstechnik neue Werkstoffkombinationen, die durch neuartige Werkstoffverbunde erfüllt werden können. So lassen sich beispielsweise durch funktionale Beschichtungen für höheren Korrosions- und Verschleißschutz Lebensdauer und Wirkungsgrade steigern.

Zur Steigerung der Effizienz von Fluggasturbinen sind neue Hochtemperaturwerkstoffe zu entwickeln und deren Verfügbarkeit sicherzustellen. Außerdem werden, um hochfeste warmumgeformte metallische Bauteile gegen Korrosion zu schützen, Schutzschichten benötigt, die den bei der Warmumformung auftretenden hohen Temperaturen standhalten. In Anwendungsfeldern mit kleineren Stückzahlen sind generative Fertigungsverfahren auf dem Vormarsch. Inwieweit sich solche Verfahren auch in der Großserienfertigung in der Automobilindustrie einsetzen lassen, muss noch gezeigt werden.

5.2.4 Materialien für Gesundheit und Lebensqualität

Im Rahmenprogramm Gesundheitsforschung der Bundesregierung setzt das BMBF auf die Verbesserung der medizinischen Versorgung von Patienten u. a. durch Fortschritte in der individualisierten Medizin und in der Prävention. Eine innovative Materialforschung liefert hierzu Lösungsansätze und trägt damit zur Sicherung eines leistungsfähigen, qualitativ hochwertigen und bezahlbaren Gesundheitssystems bei. So konnten z. B. mit verbesserter Hygiene, neuartigen Bildgebungsverfahren oder neuen Arzneimitteln in den vergangenen Jahrzehnten entscheidende Fortschritte in Prävention, Diagnose und Therapie erzielt werden, die maßgeblich zu einer höheren Lebenserwartung und Lebensqualität der Bevölkerung beigetragen haben.



Bioverträglich resorbierbares Wundauflagematerial auf Basis eines Kieselgelfaser-Vlieses



Einwegoperationszangen aus Hightech-Materialien

Die Globalisierung liefert uns nicht nur die Vorteile, jeden Artikel und jedes Produkt überall und zu jeder Zeit beziehen zu können, sondern erhöht auch das Auftreten neuer Erreger in Deutschland. Verschärft wird diese Situation durch eine zunehmende Ansiedlung durch Menschen in Ballungszentren, die mit einer Erhöhung von Keimen und Erregern einhergeht.

Gefragt sind daher Materiallösungen, die Menschen, Umwelt und Produkte vor Kontaminationen schützen und zur Prävention beitragen. Beispielsweise verhindern neuartige selbstreinigende bzw. antimikrobielle Materialsysteme ein Anhaften von Keimen und Erregern auf Türlinken oder Tastaturen. Reinigungs- und Pflegeprodukte schützen vor Krankheitserregern und sind aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Neuartige Filtersysteme, z. B. in Klima- und Lüftungsanlagen, verringern die Exposition des Menschen gegenüber Allergenen oder Umweltbelastungen. Sensorische Systeme gewährleisten eine bessere Kontrolle von Produktionsprozessen und Warenströmen und damit eine höhere Produktsicherheit.

Trotz der erzielten Verbesserungen in der Prävention kommt der Diagnose und der Therapie von Krankheiten auch weiterhin eine zentrale Schlüsselposition zu. Durch die kontinuierlich steigende Lebenserwartung nehmen auch altersbedingte Krankheiten, wie z. B. Krebs und neurodegenerative Erkrankungen, zu. Bei deren Bekämpfung gewinnen auf innovativen Materialsystemen basierende Diagnoseverfahren zunehmend

an Bedeutung, die kleinste Spuren von krankheitstypischen Substanzen, Abwehrstoffen, Antikörpern bis hin zu Erbgutbestandteilen nachweisen können. Durch eine gesteigerte Sensitivität von In-vivo- und In-vitro-Diagnostik werden Krankheiten frühzeitiger erkannt und die Effizienz einer nachgeschalteten Behandlung signifikant erhöht.

Durch Strukturierung, Beschichtung sowie Funktionalisierung können Medizinprodukte, wie z. B. Prothesen und Implantate, mit biokompatiblen und verschleißarmen Eigenschaften versehen werden. Dies erhöht die Langlebigkeit von Medizinprodukten deutlich und reduziert postoperative Eingriffe, wie sie aufgrund des Implantatverschleißes heute noch nach 15 bis 20 Jahren erforderlich sind. Gezielte Modifizierungen (Individualisierung, Biologisierung) senken zudem die Gefahr einer Abstoßungsreaktion.

Materialinnovationen ermöglichen auch neue Ansätze in der modernen Arzneimittelforschung. Neuartige Verkapselungs- und Formulierungstechnologien mit innovativen Hilfsstoffen tragen dazu bei, die Löslichkeit von Wirkstoffen und damit ihre Bioverfügbarkeit zu erhöhen. Des Weiteren lassen sich Wirkstoffe durch nano- und mikroskalige, funktionalisierbare Transportsysteme gezielt und effizient über biologische Barrieren transportieren. Die Kombination von Wirkstoffen und Trägermaterialien mit zellspezifischen Einheiten, wie z. B. monoklonalen Antikörpern oder einer zusätzlichen Funktionalisierung des Trägermaterials, steigert die Effizienz in der Therapie von Krankheiten. Neben einer zielgerichteten Anreicherung kann somit auch eine kontrollierte Freisetzung des Wirkstoffs durch einen inneren oder äußeren Auslöser am gewünschten Zielort erfolgen. Auf diese Weise kann das volle Wirkstoffpotenzial für die Behandlung von z. B. Krebs, Asthma und Erkrankungen des zentralen Nervensystems unter gleichzeitiger Reduzierung von medikamentös bedingten Nebenwirkungen für den Patienten genutzt werden.

Herausforderungen für die Materialentwicklung

- Biokompatible und verschleißarme Medizinprodukte z. B. durch Strukturierung, Beschichtung sowie Funktionalisierung von Implantatoberflächen sowie deren gezielte Modifikation zur Verringerung / Vermeidung von Abstoßungs- oder immunologischer Reaktionen
- Struktur- und Funktionsmaterialien für die individualisierte und regenerative Medizin, z. B. 3D-Gerüststrukturen zur Besiedelung mit patienteneigenen Zellen für personalisierte Implantate
- Neue bzw. verbesserte Formulierungs- und Darreichungsformen zur Steigerung der Diagnose- und Therapieeffizienz
- Pharmazeutische Hilfsstoffe
- Selbstreinigende und selbstheilende Materialsysteme sowie Adsorber- und Absorbermaterialien zur Verbesserung der Hygiene
- Biomimetische Materialien, neue Biomaterialien wie Spinnenseide, Graphene, Nanocellulose und Nanokomposite
- Nanodrähte, nano- und mikroskalige Partikel, molekulare Sonden als Sensormaterialien zur verbesserten Diagnose

5.2.5 Werkstoffe für zukünftige Bausysteme

Für eine integrierte Klimapolitik und einen nachhaltigen Klimaschutz sind funktionelle, energieeffiziente Gebäude, leistungsfähige Verkehrsträger – letztlich die gesamte Infrastruktur – von großer Bedeutung. Insofern sind innovative Technologien und Materialien für Erhalt, Sanierung und Neubau von Gebäuden bzw. Verkehrswegen und -einrichtungen gefragt.

Die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten von Gebäuden und deren ausgesprochene Langlebigkeit, welche sich durch innovative Materialien erreichen lassen, sind entscheidend für eine hohe Lebensqualität bei gleichzeitig bezahlbarem Wohnraum. Hierbei sind

jedoch nicht nur einzelne Häuser, sondern ganze Stadtteile und Städte zu betrachten. Nicht nur für die Gebäude selbst, auch für die gesamte Infrastruktur (Versorgung, Verkehr, Information) sind neue Materialforschungskonzepte erforderlich. Für eine CO₂-neutrale, energieeffiziente und klimaangepasste Stadtentwicklung sind funktionelle Gebäude und Verkehrswege essenziell.

Derzeit verbrauchen Gebäude 40 % der Energie. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Energieeffizienz von Baustoffen und Gebäuden genau zu untersuchen und mit neuen Materiallösungen zu verbessern. Die Anforderungen bestehen sowohl hinsichtlich der Dämmung von Gebäuden als auch einer dezentralen Energieversorgung. Jedoch sollte keine Trennung zwischen Energieeffizienz und Nachhaltigkeit bestehen. Es werden seitens der Bau-, aber auch der Wohnungswirtschaft sowohl Lösungen für den Neubau als auch intelligente Instandhaltungskonzepte für Wartung und Sanierung benötigt. Das Bauen im Bestand muss ressourceneffizient erfolgen.

Eine hohe Lebensqualität geht einher mit Klimatisierung, Lärmschutz, Luftqualität / Schadstoffreduktion, Selbstreinigungsfunktion von Baustoffen, dezentraler Energieversorgung und Mobilität. Hinzu kommt, dass die verstärkt auftretenden extremen und rasch



Energieautarkes Gebäude mit Phasenwechselmaterialien in der Fassade, entwickelt für den „Solar Decathlon“ Wettbewerb

wechselnden Wettersituationen zukünftig viel stärkere Anforderungen an multifunktionelle Gebäude(hüllen) stellen werden. Für eine noch bessere Nachhaltigkeit von Baumaterialien ist deren Recyclingfähigkeit deutlich zu steigern. Das beginnt schon bei der Planung und Materialauswahl, reicht über den Bau bis hin zum Recycling. Überlegungen wie recyclingfähiges Bauen (Design for urban mining, Design for recycling), das Kennzeichnen und Überwachen von Baustoffen oder eine Lebenszyklusanalyse werden in den kommenden Jahren den Einsatz optimierter Baustoffe bis hin zu Baumaterialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften bestimmen. Erst durch ein Langzeitmonitoring können die Auswirkungen neuer Baustoffe auf Umwelt und Gesellschaft abgeschätzt werden.

Herausforderungen für die Materialentwicklung

- Werkstoffe für schaltbare Wärmedämmung und Verglasung sowie Wärmespeicher, z. B. poröse hydrogelhaltige Baustoffe, nanoskalige, funktionale Füllstoffe, sensorische Materialien und Baustoffe mit schallschluckenden, schadstoffreduzierenden Oberflächen (photokatalytische bzw. selbstreinigende Materialien)
- Multifunktionale, materialreduzierte (Leichtbau-) Fassaden, u. a. durch Textilbetone, Membranen, Sandwich-Materialverbunde
- Ultrahochfeste Betone, neue Bindemittel, deutlich verbesserte Kleb- und Dichtstoffe
- Voll recyclingfähige Bau- und Dämmstoffe (Lebenszyklusanalyse)
- Innovative Materialien für zukünftige Verkehrsbelastungen (industrielle Vorfertigung, baustellengerecht, Eisfreiheit, Frost- / Tausalzbeständigkeit, Lärminderung durch Offenzporigkeit, Verdoppelung der Lebensdauer)
- Neue, angepasste Werkstoffe für die Informationsvernetzung und eine intelligente Anbindung an erneuerbare Energien

6 Forschung verzahnen – Wirkung steigern

Werkstoff- und Nanotechnologien als Schlüsseltechnologien tragen zur Lösung globaler Herausforderungen bei. Sie sind oft Teil ressortübergreifender Innovationsinitiativen und eine der wesentlichen Grundlagen für die weitere Stabilisierung der Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands. In der Forschung ist besonders die interdisziplinäre Verknüpfung natur- und ingenieurwissenschaftlicher Fachdisziplinen mit gesellschaftlichen Anwendungsfeldern gefordert. Ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Umsetzung werkstoff- und nanotechnologierelevanter Innovationen ist eine umfassende Vernetzung der beteiligten Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Das BMBF gestaltet und unterstützt aktiv diesen Verzahnungs- und Vernetzungsprozess.

Für eine erfolgreiche Innovationspolitik sind der Aufbau thematischer Netzwerke, ein abgestimmter Fördermitteleinsatz und der Blick auf ganze Wertschöpfungsketten entscheidend. Ausgehend von der Verfügbarkeit geeigneter Materialien und Strukturen und der für die Herstellung und Analyse nötigen Verfahren lassen sich Zwischenprodukte für vielfältige Anwendungen generieren, welche für den jeweiligen Bedarfsfall weiterentwickelt werden können. Solche wertschöpfungsorientierten Innovationsverläufe beginnen in vielen Fällen mit materialwissenschaftlichen Entdeckungen im Bereich der universitären und institutionellen Grundlagenforschung.

Das BMBF begleitet im Bereich der institutionellen Förderung die Inhalte und achtet auf Forschungsthemen mit Anwendungspotenzial. Auch die inhaltliche Ausrichtung der Forschungsarbeiten wird vom BMBF unterstützt, um so eine erfolgreiche Translation der Grundlagenforschung zur anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung zu initiieren. Dazu steht das BMBF in engem Kontakt und regem Austausch mit zahlreichen außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

Außerdem ergeben sich aufgrund der Querschnittsfunktion der Werkstoffforschung zahlreiche Bezüge zu anderen Programmen des BMBF und Schnittstellen zu anderen Ressorts und Fördereinrichtungen. Der Übergang der Grundlagenforschung zur anwendungsorientierten FuE wird in geeigneten Bereichen durch wissenschaftliche Vorprojekte eingeleitet, an welche



sich die thematische Förderung von industriellen Verbundvorhaben, strategischen Allianzen und die für die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands wichtigen Innovationsprojekte anschließen. Dazu werden die für das gesamte Netzwerk nötigen Akteure identifiziert und frühzeitig in die FuE-Aktivitäten eingebunden, die Arbeiten auf spätere Marktchancen hin ausgerichtet und im Rahmen von Begleitmaßnahmen auch Aktivitäten wie Aus- und Weiterbildung, Öffentlichkeitsarbeit sowie Gesprächsformate mit Bürgern und Stakeholdern einbezogen. Das BMBF steht in einem kontinuierlichen Austausch mit den relevanten Teilen der Bundesressorts und den BMBF-Förderbereichen, die zur vollständigen Abdeckung thematischer Wertschöpfungsnetze im Sinne der Hightech-Strategie beitragen können. Dies



Werkstoffforschung und -entwicklung sind überdies zentrale Themen im EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation „Horizont 2020“. Wichtigster Förderbereich für die Werkstoffe ist darin die Säule „industrielle Führungsrolle“, in welcher Werkstoffe als Schlüsseltechnologie für die europäische Wirtschaft gefördert werden. Hierzu findet zusammen mit anderen Mitgliedsstaaten und der EU-Kommission eine gemeinsame Programmplanung statt. Das BMBF vertritt dabei die Bundesregierung forschungspolitisch in dem für die Werkstoffaspekte zuständigen Ausschuss „Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing, NMBP“. Ziel ist es, eine sinnvolle Ergänzung und Flankierung ausgewählter nationaler Förderthemen durch europäische Fördermaßnahmen anzustreben. Themen wie Nanosicherheitsforschung oder die Substitution kritischer Rohstoffe erhalten besondere Aufmerksamkeit, da sie sowohl auf nationaler als auch auf EU-Ebene eine hohe Priorität haben.

betrifft z. B. die Abstimmung zwischen der Material- und der Produktionsforschung, da moderne Fertigungsverfahren maßgeschneiderte Materialsysteme voraussetzen. Auch in der Energieforschung sind neue Formen der Energieerzeugung, -speicherung und -umwandlung ohne geeignete Materialien und Werkstoffe undenkbar. Aufgrund der Schlüsselrolle, die der Materialforschung bei der Elektromobilität, bei ressourceneffizienten Fertigungstechniken oder bei der Bereitstellung einer präventiven und personalisierten medizinischen Versorgung zukommt, übernimmt das BMBF oft programm- oder ressortübergreifende Abstimmungsprozesse. Darüber hinaus wirkt das BMBF in nationalen und internationalen Gremien zu Normen und Standards mit.

7 Internationale Zusammenarbeit

Die europäische und internationale Zusammenarbeit in der Materialforschungsförderung wird gemäß den geltenden politischen und strategischen Zielsetzungen der Bundesregierung und insbesondere denen des BMBF ausgestaltet. Wichtige Treiber für die Materialwissenschaft und Werkstofftechnik sind die Globalisierung der Wirtschaft und die fortschreitende Internationalisierung der Wissenschaft. Daher ist es das Ziel des Materialforschungsförderprogramms, im Rahmen der länderübergreifenden Zusammenarbeit, einen globalen Wissenszugang zu eröffnen, die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen durch den Aufbau internationaler Allianzen zu stärken und international relevante Themen, wie die Toxizität und Bauteilsicherheit von Werkstoffen, die Normung und die Standardisierung, voranzutreiben.

Aufgrund unterschiedlicher politischer und rechtlicher Rahmenbedingungen wird grundsätzlich zwischen internationalen und europäischen Maßnahmen unterschieden.

Deutschland ist ein wichtiger Motor bei der Schaffung des europäischen Forschungsraums. Das BMBF gestaltet diesen Forschungsraum im Rahmen der gemeinsamen Programmplanung aktiv mit. Zusätzlich beteiligt sich das BMBF in der Werkstoffforschung an verschiedenen multinationalen Fördermaßnahmen. Deutsche Interessenten werden von den Nationalen Kontaktstellen (NKS), wie z. B. der NKS Werkstoffe oder der NKS Nanotechnologie, über europäische Fördermöglichkeiten informiert und bei der Antragstellung beraten und unterstützt. So wird sichergestellt, dass deutsche Forscher optimalen Zugang zu den Fördermöglichkeiten im Rahmenprogramm für Forschung und Innovation der Europäischen Kommission, „Horizont 2020“, erhalten.

Neben der Projektförderung in „Horizont 2020“ gibt es eine Reihe weiterer Fördermöglichkeiten für europäische Konsortien im Bereich der Werkstoffforschung. Einerseits handelt es sich um Kooperationen europäischer Zuwendungsgeber, deren Vernetzungsaktivitäten durch die EU-Kommission finanziert



werden, wie z. B. ERA-NET und „Coordination & Support Actions“ (CSA). Auch hier ist die Kooperation mit internationalen Partnern möglich. Andererseits sind direkte Kooperationen im Rahmen von EUREKA, COST und der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit (WTZ) ein Schwerpunkt der europäischen und internationalen Kooperation. Hier werden insbesondere solche Themen aufgegriffen, deren Lösung einer europäischen Perspektive bedürfen.

Außerhalb Europas sind bilaterale Projekte im Rahmen der WTZ-Abkommen das Instrument für einen internationalen Austausch in den Bereichen Forschung, Innovation und Bildung und für den Auf- und Ausbau partnerschaftlicher Beziehungen zwischen Forschungspartnern. Internationale Kooperationen finden zu ausgewählten Materialforschungsthemenbereichen mit einschlägigen exzellenten Partnern statt und dienen dem gegenseitigen Wissensaustausch sowie dem gemeinsamen Bemühen, Technologietransfer zu beschleunigen. Daneben können Kooperationen auch auf komplementären Fähigkeiten und Ressourcen beruhen und so ein gemeinsames globales Wertschöpfungsnetzwerk abdecken.



8 Durchführung des Programms

Das Rahmenprogramm „Vom Material zur Innovation“ ist eine Weiterentwicklung des Vorgängerprogramms „Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING“. Als lernendes Programm bildet es den Rahmen für eine längerfristig ausgerichtete flexible Förderpolitik der Bundesregierung, die so auf sich ändernde Herausforderungen des Themenfeldes sowohl inhaltlich-fachlich als auch mit verschiedenen Förderinstrumenten reagieren kann.

Verfahren und Förderkriterien

„Vom Material zur Innovation“ oder von der „Herausforderung zur Lösung“ – die Umsetzung des strategischen Programmprofils sowie eine thematische Schwerpunktsetzung erfolgt durch die Bekanntmachung von Förderrichtlinien im Bundesanzeiger. Dies erlaubt eine zielgerichtete, inhaltliche und zeitliche Themensteuerung. Ergänzend dazu besteht in Ausnahmefällen die Möglichkeit, Projektideen außerhalb von Förderrichtlinien zu fördern.

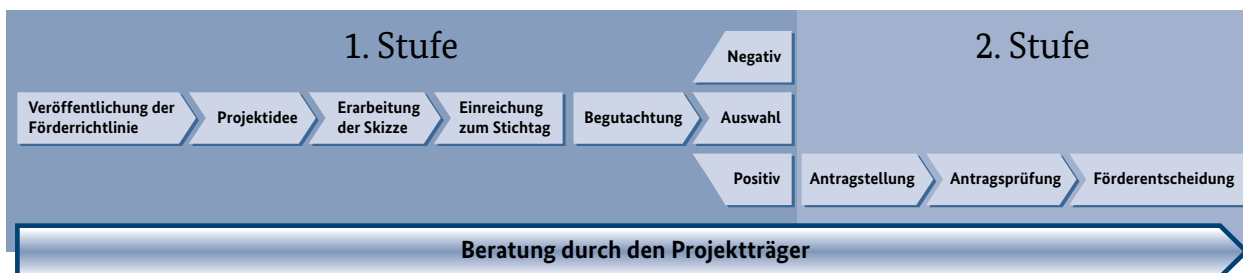
In den Förderrichtlinien werden das jeweilige Themenfeld präzisiert und die Fördervoraussetzungen und der Förderrahmen verbindlich festgelegt. In einem in der Regel zweistufigen Verfahren können Bewerber zunächst Skizzen bei dem beauftragten Projektträger einreichen. Diese Skizzen werden begutachtet und stehen im Wettbewerb zueinander. Das BMBF behält sich vor, sich bei der Auswahl der zu fördernden Projektskizzen themenspezifisch gutachterlich beraten zu lassen, wobei auf die Vertraulichkeit geachtet wird.

Vorbehaltlich abweichender Regelungen in den Förderrichtlinien gelten zur Bewertung der Projektskizzen regelmäßig die folgenden Kriterien:

- Fachlicher Bezug zur Förderbekanntmachung und wissenschaftlich-technische Qualität des Lösungsansatzes
- Beitrag zur Stärkung der Innovationskraft der Unternehmen und der Wettbewerbsfähigkeit
- Berücksichtigung des gesellschaftlichen Bedarfs und der Nachhaltigkeit
- Hebelwirkung der jeweiligen Materialentwicklung für die industrielle Anwendung
- Innovationshöhe, Risiken und Anwendungsbreite des wissenschaftlich-technischen Konzeptes und des Verwertungskonzeptes
- Kompetenz der Partner und angemessene Projektstruktur

In der zweiten Stufe des Auswahlverfahrens werden die ausgewählten Konsortien zur Vorlage förmlicher Förderanträge aufgefordert. Die Laufzeit der geförderten Verbundvorhaben wird in der Regel drei Jahre betragen. Mit diesem mehrstufigen Auswahlverfahren wird der administrative Aufwand begrenzt und der Entscheidungsprozess zeitlich beschleunigt.

Es gelten die Förderregularien der Projektförderung des BMBF in der jeweils gültigen Fassung. Für Zuwendungen auf Ausgabenbasis sind dies die Allgemeinen Nebenbestimmungen für Zuwendungen zur Projektförderung (ANBest-P) und die Besonderen Nebenbestimmungen für Zuwendungen des BMBF zur Projektförderung auf Ausgabenbasis (BNBest-BMBF). Für Zuwendungen auf Kostenbasis sind dies die Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Kostenbasis des BMBF an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (NKBF).



Der Weg zum Projekt



Förderinstrumente und Förderhöhe

Kernelement der direkten Projektförderung sind Verbundprojekte zwischen Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und Forschungseinrichtungen entlang von Wertschöpfungsnetzwerken, die industriegeführt sein und alle notwendigen Expertisen für die erfolgreiche Durchführung der Projekte einbeziehen sollen. Die Arbeiten von Industriepartnern innerhalb solcher Projekte müssen dabei dem vorwettbewerblichen Bereich zugeordnet sein und deutlich über betriebliche Wirtschaftsinteressen hinausgehen. Je nach Zielsetzung der jeweiligen Fördermaßnahme können auch Einzelvorhaben oder Studien gefördert werden. Die Verbundprojekte sollen ein risikoreiches, anwendungsorientiertes Projektziel mit Aussicht auf eine spätere marktwirtschaftliche Umsetzung verfolgen, das auch Aspekte der Nachhaltigkeit angemessen berücksichtigt. Die Durchführung der geförderten Projekte muss in Deutschland erfolgen.

Die Höhe der jeweiligen Förderung (Beihilfen) der einzelnen Partner innerhalb eines Verbundprojektes richtet sich nach den folgenden Forschungs- und Entwicklungskategorien:

- bis zu 100 % für die FuE-Kategorie „Grundlagenforschung“
- bis zu 50 % für die FuE-Kategorie „Industrielle Forschung“

- bis zu 25 % für die FuE-Kategorie „Experimentelle Entwicklung“
- bis zu 50 % für Durchführbarkeitsstudien

Grundlage für die Bemessung der Beihilfeintensität und die Bewertung der Förderfähigkeit sind die nationalen Vorschriften und die EU-Beihilferegularien, d. h. der Unionsrahmen für staatliche Beihilfen zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Innovation sowie die Allgemeine Gruppenfreistellungsverordnung (AGVO). Werden Teile der Arbeiten eines Vorhabens unterschiedlichen FuE-Kategorien zugeordnet, richtet sich die Förderquote für das Vorhaben entsprechend nach den jeweiligen Anteilen der einzelnen FuE-Kategorien.

Bemessungsgrundlage für Hochschulen, Forschungs- und Wissenschaftseinrichtungen und vergleichbarer Institutionen sind die zuwendungsfähigen projektbezogenen Ausgaben (bei Helmholtz-Zentren und der Fraunhofer-Gesellschaft die zuwendungsfähigen projektbezogenen Kosten), die in der Verbundforschung individuell bis zu 100 % gefördert werden können. Bei Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft wird eine angemessene Eigenbeteiligung von mindestens 50 % der entstehenden zuwendungsfähigen Kosten vorausgesetzt. Darüber hinaus wird erwartet, dass sich Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft in Verbundprojekten entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit an den Aufwendungen der Hochschulen und der öffentlich finanzierten Forschungseinrichtungen angemessen –

in Form von Barmitteln oder durch Absenkung der Förderquote – beteiligen, sofern letztere als Verbundpartner mitwirken. Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU im Sinne der jeweils aktuellen Richtlinien der EU-Kommission) kann ein Bonus gewährt werden.

Ein weiteres Element neben den industriegeführten Verbundprojekten sind sogenannte „Wissenschaftliche Vorprojekte“ von Forschungseinrichtungen, die zur Generierung von aussichtsreichen Grundlagenergebnissen mit hohem Anwendungspotenzial beitragen sollen. Die erarbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen sollen das Potenzial für eine spätere industrielle Anwendung aufweisen. Eine industrielle Begleitung dieser Institutsprojekte wird daher angestrebt. Mit der Förderung sollen die Voraussetzungen für eine nachfolgende industriegeführte FuE-Phase mit entsprechender industrieller Umsetzung im Rahmen einer möglichen Fördermaßnahme geschaffen werden. Wissenschaftliche Vorprojekte können im Institutsverbund mit bis zu 100 % gefördert werden.

Des Weiteren werden Instrumente zur Förderung von exzellentem wissenschaftlichem Nachwuchs und zur Unterstützung von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) bei Werkstoffentwicklungen angeboten. Der Zugang für KMU zu FuE-Projekten soll erleichtert werden; dazu wird die spezifische KMU-Förderung inhaltlich mit einem breiteren Ansatz als im vorangegangenen WING-Programm fortgeführt.

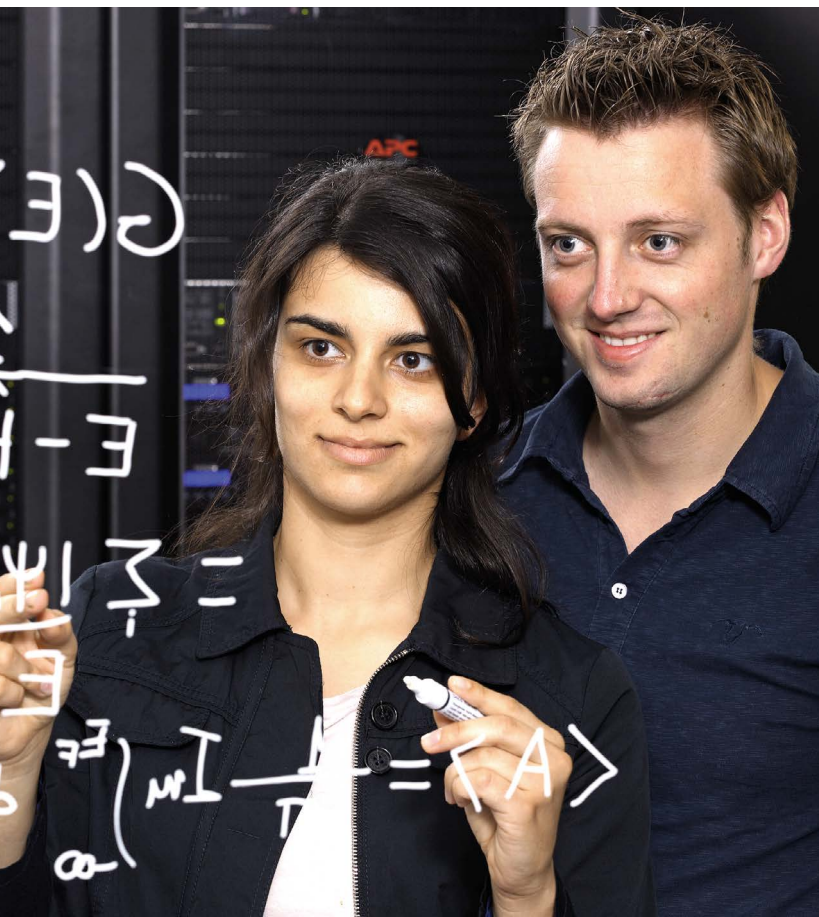
Um die inhaltlichen Zielsetzungen auch mit den passenden Förderstrukturen zu erreichen, werden in der Programmumsetzung ggf. weitere Instrumentarien entwickelt. So könnten zu bestimmten Themen, Zielgruppen oder zur stärkeren Verbreitung von Technologien flankierend zur direkten Projektförderung weitere Fördermaßnahmen durchgeführt werden. Dazu zählen z. B. indirekt-spezifische Maßnahmen, die eine vereinfachte Antragstellung, Projektdurchführung und -abrechnung erlauben.

Chancen durch Standardisierung und internationale Kooperationen

Eine frühzeitige Berücksichtigung von Standards und Normen, die Einbeziehung relevanter Akteure oder die Beteiligung an Standardisierungsprozessen unterstützen die zielgerichtete Entwicklung innovativer Materialien und Technologien und deren Einführung im internationalen Markt. Neben kostensenkenden Effekten gewährleistet die Einführung europaweit oder weltweit einheitlicher Standards und Normen die Kompatibilität und Interoperabilität von Komponenten und Systemen.

Das BMBF unterstützt Standardisierungs- und Normungsaktivitäten unter Berücksichtigung des normungspolitischen Konzeptes der Bundesregierung ziel- und themenspezifisch, um so die Umsetzung und Verbreitung von Innovationen und Forschungsergebnissen zu intensivieren. Soweit durch Normung oder Standardisierung Transfer- oder Validierungseffekte möglich erscheinen, werden in den entsprechenden thematisch orientierten Förderrichtlinien Anforderungen zur Überprüfung der Normungsrelevanz der erzielten Projektergebnisse und ggf. deren Einbringung in die Normung aufgegriffen.

Internationale Kooperationen eröffnen für Deutschland zahlreiche Chancen zur Gestaltung der Zusammenarbeit und zum Erkenntnisgewinn. Diese Kooperationen erschließen z. B. neue Märkte für die deutsche Industrie oder sind für die Erarbeitung von Standards unverzichtbar. Ebenso kann die Einbindung europäischer Partner erforderlich sein, um die Wertschöpfungskette in einem Projekt zu schließen. Möglichkeiten zur Kooperation bestehen innerhalb der zum Programm veröffentlichten Förderrichtlinien im Rahmen der verschiedenen Abkommen zur wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit oder in transnationalen Förderinitiativen. Seitens der EU werden innerhalb des Rahmenprogramms für Forschung und Innovation, „Horizont 2020“ ebenfalls Mittel für die Materialforschung zur Verfügung gestellt. Ergänzend dazu bestehen europäische Initiativen, wie beispielsweise EUREKA.



Lernendes Programm, Technologietransfer und Evaluation

Aufgrund der dynamischen Entwicklung von FuE sowie der zu erwartenden Veränderungen der ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sind ein stetiges Monitoring sowie eine kontinuierliche Weiterentwicklung des Programms erforderlich. Sowohl auf Programm- als auch auf Projektebene sind verschiedene Maßnahmen zur inhaltlichen Ausgestaltung der Förderung, zur Vernetzung der Akteure sowie zur Qualitätssicherung und Erfolgsbewertung geplant.

Zur inhaltlichen Gestaltung der Förderrichtlinien wird das BMBF regelmäßig Fachgespräche unter Einbeziehung von in- und ggf. auch ausländischen

Experten durchführen und auf Basis der Ergebnisse die Förderfelder weiterentwickeln. Ebenso werden neue Förderinstrumentarien eingeführt, falls sich abzeichnet, dass mit den verfügbaren Instrumenten wichtige Impulse nicht gegeben oder notwendige Partner nicht einbezogen werden.

Um den Dialog und den Technologietransfer zwischen den Projekten und Akteuren zu initiieren und zu verstetigen, wird das BMBF Statusseminare und regelmäßig eine Konferenz zur Materialforschung durchführen. Hier werden aktuelle Ergebnisse aus den Förderschwerpunkten vorgestellt und der Austausch zwischen Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zu den zukünftigen Herausforderungen vorangetrieben.

Das vorliegende Programm berücksichtigt die Evaluationsergebnisse des Vorläuferprogramms „Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING“, greift die neuesten technologischen Entwicklungen auf und reagiert als lernendes Programm auf die sich wandelnden gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Entsprechend der positiven Bewertung in den Evaluationen wird die Projektförderung auf Verbundprojekte ausgerichtet, in denen anwendungsorientierte Grundlagenforschung und die industrielle Forschung im Fokus stehen. Nach angemessener Programmlaufzeit ist wiederum eine Evaluation mit einem externen, strategischen Audit vorgesehen. Dabei werden u. a. die förderpolitischen Programmziele, die Wirksamkeit der Förderung sowie die Einbindung der Akteure bewertet. Die Ergebnisse der Evaluation fließen in die thematische und instrumentelle Weiterentwicklung des Programms ein.

Anhang 1: Vernetzung mit anderen Förderprogrammen und Ressorts

Energieforschung

Das BMWi hat die Programmzuständigkeit für die Energieforschungspolitik der Bundesregierung. Zusammen mit dem BMUB, BMEL und dem BMBF sollen innovative Energietechnologien für den umweltschonenden, sicheren und kostengünstigen Umbau der Energieversorgung in Deutschland erarbeitet werden. Im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung ist das BMBF zuständig für die Projektförderung „Grundlagenforschung Energie“. Materialforschung und moderne Verfahren der Nanotechnologie sind für die Energieerzeugung, -speicherung und -nutzung von zentraler Bedeutung. Der Einsatz neuer Werkstoffe mit maßgeschneiderten Materialeigenschaften bietet ein erhebliches Potenzial für Lösungsbeiträge.

Produktionsforschung

Im Forschungsprogramm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ werden relevante Ergebnisse aus verschiedenen Fachgebieten für Bedarfe der industriellen Produktion und die Dienstleistungsbranchen aufgegriffen. Mit Industrie 4.0 wird eine intelligente Vernetzung sämtlicher Produktionskomponenten und -systeme angestrebt. Solche Ansätze können in der generativen Fertigung bereits heute beobachtet werden. Weiterhin können neue Materialien den Maschinenkomponenten inhärente Eigenschaften für die Selbstdiagnose sowie Funktionen der Adaption an neue Gegebenheiten geben und bilden damit die Basis für eine noch dezentralere und flexiblere Produktion im Sinne der Industrie 4.0.

Photonikforschung

Das Forschungsrahmenprogramm „Photonik Forschung Deutschland - Licht mit Zukunft“ und die zugrundeliegende „Agenda Photonik 2020“ streben einen Ausbau der Photonik als Schlüsseltechnologie für Wachstumsmärkte wie Beleuchtung, Energietechnik, Biophotonik und digitale Optik an. Neue photonische Prozessketten mit fortgeschrittenen Strahlquellen und Regelsystemen

erlauben in Kombination mit neuen Ausgangsmaterialien die generative Fertigung von komplexen Bauteilen. Darüber hinaus ermöglichen innovative Materialien, Fertigungs- und Beschichtungstechnologien die Entwicklung neuer photonischer Komponenten wie Optiken oder Strahlquellen. Dadurch können die Kernkompetenzen in der Photonik weiter ausgebaut werden.

Informations- und Kommunikationstechnologien

Arbeiten zu Informations- und Kommunikationstechnologien werden vom BMBF im Rahmen des Programms „IKT 2020 – Forschung für Innovation“ durchgeführt. Die Projektergebnisse betreffen fast alle Industrieprodukte und Dienstleistungen und sind häufig mit Material-, Werkstoff- und Nanotechnologien verknüpft. Sie sind daher von branchenübergreifender Bedeutung für Industriebereiche wie den Maschinen- und Anlagenbau, die Automobilherstellung, die Medizintechnik oder die chemische Industrie.

Gesundheit

Leitgedanke des Rahmenprogramms Gesundheitsforschung der Bundesregierung ist es, Forschungsergebnisse schneller in die medizinische Versorgung von Patienten zu überführen. Kernelement sind dabei die sechs deutschen Zentren der Gesundheitsforschung, die sich auf die Erforschung von Volkskrankheiten konzentrieren. Die Materialforschung liefert hierzu Lösungsansätze, z. B. für langlebige Implantate, verbesserte medizinische Bildgebung, sensitivere Diagnostikverfahren oder auch neue Wirkstoffe und Wirkstoffträger. Forschung und Entwicklung in der Chemie und Nanotechnologie sind auch für Verfahren der individualisierten Medizin von grundlegender Bedeutung. Weitere Aktionsfelder des Programms sind die individualisierte Medizin, die Präventions- und Ernährungsforschung, die Versorgungsforschung und die Gesundheitsforschung in globaler Kooperation. Für die beteiligten Unternehmen haben grundlegende Materialforschung, nanotechnologische

Verfahren und medizintechnische Werkstoffentwicklungen einen hohen, wettbewerbsentscheidenden Stellenwert. Das Programm wird gemeinsam vom BMBF und dem BMG getragen.

Bioökonomie

Biobasierte Innovationen sorgen nicht nur im Rohstoff- und Lebensmittelbereich für Wachstumsimpulse, sondern auch in industriellen Produktionsprozessen sowie im Maschinen- und Anlagenbau, in der Automobilindustrie und der Umwelttechnologie. Die „Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ verfolgt neue Konzepte zur Nutzung biologischer Quellen und Prozesse. Ziel ist es, den Strukturwandel von einer erdöl- zu einer biobasierten Industrie für ein nachhaltiges Wirtschaften voranzutreiben.

Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)

Zur Bewältigung der globalen Herausforderungen in der Klimaforschung und Ressourcenschonung wurde das Rahmenprogramm „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ gestartet. Schlüsseltechnologien, wie die Materialforschung und die Nanotechnologie, sind dabei wichtige Forschungsfelder für nachhaltige Entwicklungen. Ziel ist es, wirtschaftsstrategische Rohstoffe intelligenter und effizienter zu nutzen und so zur nachhaltigen und sicheren Rohstoffversorgung Deutschlands beizutragen. Und auch die stoffliche Nutzung von CO₂ als Chemierohstoff ist Inhalt der programmspezifischen Fördermaßnahmen. Einen weiteren Schwerpunkt bilden Maßnahmen zum Thema „Wasser“.

Sicherheitsforschung

Im Rahmenprogramm der Bundesregierung „Forschung für die zivile Sicherheit 2012 – 2017“ werden gesellschaftliche Aspekte und technologische Lösungsansätze verknüpft, um in allen Lebenslagen Menschen vor Bedrohungen zu schützen. Grundlegende Arbeiten dafür beziehen auch Erkenntnisse zu verbesserten Materialien oder sensitiveren Detektionsverfahren mit ein.

Forschungsinfrastrukturen und Großgeräte

Seit mehreren Jahrzehnten fördert die Bundesregierung nationale Photonen-, Neutronen- und Ionenquellen, die für die Grundlagenforschung an kondensierter Materie unverzichtbar sind. Durch solche Forschungsgeräte werden interdisziplinäre Herangehensweisen zur Aufklärung von komplexen multifunktionalen Eigenschaften neuer innovativer Materialien oftmals erst möglich.

Materialforschungsförderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Die DFG fördert die grundlagenorientierte Materialforschung und Werkstoffentwicklung in dem Fachgebiet „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ sowie in Teilen der Physik und der Chemie. Dabei werden auch Aspekte der Nanomaterialien und der Nanotechnologie berücksichtigt. Relevante Projekte finden sich sowohl in den Natur- und Ingenieurwissenschaften als auch in den Lebenswissenschaften. Im Rahmen dieser Wissenschaftsbereiche existieren mehrere Fachkollegien, die sich mit der Bewertung von Anträgen zur Werkstoff-, Material- und Nanotechnologie beschäftigen. Neben der Förderung von Einzelprojekten unterstützt die DFG auch im Rahmen koordinierter Programme Grundlagenforschung zu neuen Materialien und innovativen Werkstoffen (u. a. in Graduiertenkollegs, Schwerpunktprogrammen, Forschergruppen, Sonderforschungsbereichen). Zudem fördert die DFG im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder Graduiertenschulen und Exzellenzcluster. In der Materialforschung sind in diesem Zusammenhang u. a. die in Mainz angesiedelte Graduiertenschule „Materialwissenschaften IN MainZ“, der in Dresden geförderte Exzellenzcluster „Center for Advancing Electronics Dresden“ und der in Erlangen geförderte Exzellenzcluster „Neue Materialien und Prozesse – Hierarchische Strukturbildung für funktionale Bauteile“ zu nennen.

Anhang 2: Außeruniversitäre Forschung mit Bezug zur Materialforschung

Wesentliche grundlegende wissenschaftliche Erkenntnisse werden insbesondere durch Förder- und Forschungsaktivitäten der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. (MPG), der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e. V. (HGF), der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. (FhG) sowie der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz e. V. (WGL) erarbeitet.

Max-Planck-Gesellschaft (MPG):

Derzeit engagieren sich 82 Max-Planck-Institute in innovativen Forschungsgebieten. Im Themenfeld Festkörperforschung und Materialwissenschaft sind 14 Institute gelistet, von denen besonders die Institute für Polymerforschung, Kolloid- und Grenzflächenforschung, Festkörperforschung, Intelligente Systeme, Kohlenforschung, Eisenforschung oder Mikrostrukturphysik Innovationen mit neuen Materialien adressieren. In den letzten Jahren wurden auch verstärkt Kooperationen mit der Fraunhofer-Gesellschaft begonnen, u. a. in der Materialwissenschaft und der Nanotechnologie.

Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF):

Die Helmholtz Gemeinschaft ist die größte Wissenschaftsorganisation Deutschlands und vereint 18 Forschungszentren. Werkstofftechnik und Nanotechnologie werden von der HGF in Unterstützung der Regierungsprogramme der Hightech-Strategie in erster Linie im Forschungsbereich Schlüsseltechnologien verfolgt. Speziell in den HGF-Programmen „Funktionale Werkstoffsysteme“ und „Science and Technology of Nanosystems“ werden grundlagenorientierte materialrelevante Fragestellungen für zukünftige Anwendungen bearbeitet. Weiterhin werden in Helmholtz-Allianzen die Themen Membrantechnologien, Liquid Metals und Energietechnologien erforscht. Zudem werden im Rahmen Virtueller Institute in Zusammenarbeit mit

Hochschulen Forschungsarbeiten auch zu anwendungsrelevanter Materialwissenschaft durchgeführt. Die wichtigsten Zentren mit Werkstoffbezug befinden sich in Karlsruhe, Jülich, Geesthacht, Berlin und Dresden sowie als Institute in Freiberg, Erlangen-Nürnberg und Ulm.

Fraunhofer-Gesellschaft (FhG):

Im Bereich anwendungsorientierter Forschung ist die FhG die größte Forschungsorganisation in Europa. Sie betreibt 67 Institute und Forschungseinrichtungen. Die Entwicklung von Schlüsseltechnologien ist auch bei der FhG eine der Hauptaktivitäten. Materialfragen spielen dabei in fast allen Forschungsthemen eine Rolle. Mögliche Lösungsbeiträge werden in Verbänden, Allianzen und durch die Arbeit zahlreicher Institute geliefert. Durch FhG-Institutskooperationen werden die Themen Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS, Nanotechnologie, Polymere Oberflächen, Photokatalyse, Leichtbau, Batterien, Keramiken und Baustoffe bearbeitet. Der FhG-Verbund „Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS“ beispielsweise bündelt die Aktivitäten von 15 materialwissenschaftlich orientierten Instituten entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Zudem wird in Fraunhofer-Innovationsclustern innovative Materialforschung zur Stärkung regionaler Kompetenzen betrieben.

Leibniz Gemeinschaft:

Es existieren aktuell 89 Leibniz-Einrichtungen mit unterschiedlichen fachlichen Schwerpunkten. Im Forschungsschwerpunkt Materialien und Nanotechnologie erforschen zehn Einrichtungen – DWI, INM, ISAS, IFW, LIKAT, IKZ, IOM, INP, IPF und PDI – insbesondere Materialien mit besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften. Im Leibniz-Forschungsverbund Nanosicherheit wird unter Koordination des INM zusammen mit fünf weiteren Einrichtungen untersucht, wie sich Nanomaterialien sicher einsetzen lassen. Des Weiteren werden im Leibniz-Netzwerk Nano Kompetenzen von 14 Instituten gebündelt.

Die im BMBF für die Materialforschung zuständige Organisationseinheit betreut eine Reihe von institutionell geförderten Forschungseinrichtungen, die nachfolgend näher beschrieben sind.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT):

Das Karlsruher Institut für Technologie ist eine Technische Universität des Landes Baden-Württemberg und zugleich nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft. Es ist eine der weltweit größten Forschungs- und Lehrinrichtungen. Die Materialforschung stellt einen wesentlichen Aspekt der Forschungsaktivitäten dar und findet sich vor allem im KIT-Zentrum „Materialien, Strukturen, Funktionen“, dem Institut für Angewandte Materialien, dem Institut für Mikrostrukturtechnik, dem Helmholtz-Programm „Energieeffizienz, Materialien und Ressourcen“, dem Institut für Angewandte Physik sowie dem Institut für Nanotechnologie wieder. Im Helmholtz-Institut Ulm für Elektrochemische Energiespeicher (HIU), einer Zweigstelle des KIT, kommt ebenfalls fundiertes Know-how aus der Materialforschung des KIT zum Tragen.

Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG):

Das Helmholtz-Zentrum Geesthacht beschäftigt sich u. a. mit der Erforschung von Biomaterialien, von Polymeren und Werkstoffen. Das Institut für Biomaterialforschung untersucht multifunktionale, polymerbasierte Biomaterialien für Anwendungen in der Regenerativen Medizin. Im Institut für Polymerforschung stehen Membranen und multifunktionale Polymerwerkstoffe für Anwendungen in der Stofftrennung und für Beschichtungen im Mittelpunkt. Am Institut für Werkstoffforschung wird in den Bereichen Werkstoffmechanik, Werkstoffphysik und Werkstofftechnologie geforscht. Darüber hinaus ist dort das „Magnesium Innovations Center MagIC“ angesiedelt.

Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW):

Das Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung erforscht schwerpunktmäßig Funktionsmaterialien mit großem Potenzial für die Anwendung. Darunter finden sich z. B. Supraleiter, magnetische Materialien, nanoskopische Materialien und Schichtsysteme sowie metallische Gläser.

Leibniz-Institut für Interaktive Materialien (DWI):

Das Leibniz-Institut für Interaktive Materialien befasst sich mit der Entwicklung von Materialien mit aktiven und adaptiven Eigenschaften. Die Arbeiten des DWI zielen insbesondere auf schaltbare Materialeigenschaften und Strukturgedächtniseffekte, die Entwicklung von Rückkopplungsmechanismen oder die Integration von Energiekonversionssystemen. Anwendungsfelder liegen etwa in der biomedizinischen Technik oder der Verfahrens- und Oberflächentechnik.

Leibniz-Institut für Neue Materialien (INM):

Das Leibniz-Institut für Neue Materialien forscht in den Technologiefeldern Nanokomposite, Grenzflächenmaterialien und Biogrenzflächen. Es konzentriert sich bei der Überführung innovativer Materialien von der Grundlagenforschung in die Anwendung auf nicht-metallische, anorganische Werkstoffe und Kompositmaterialien, wobei Grenzflächenphänomene und deren Nutzung mit im Fokus stehen.

Leibniz-Institut für Analytische Wissenschaften (ISAS):

Das Leibniz-Institut für Analytische Wissenschaften entwickelt, erprobt und validiert analytische Verfahren, Techniken und Geräte in den Schwerpunkten „Materialforschung und optische Technologien“ und „Biomedizinische Forschung und Technologien“. Im Bereich Material- und Grenzflächenanalytik werden spektroskopische Methoden genutzt, um Prozesse und Materialien etwa in der Solar-, Nano-, Bio- und Halbleitertechnologie zu untersuchen.

Leibniz-Institut für Katalyse (LIKAT):

Das Leibniz-Institut für Katalyse zielt mit seinen Arbeiten auf die Gewinnung neuer Erkenntnisse auf dem Gebiet der Katalyse von der Grundlagenforschung, deren Anwendung bis hin zur technischen Umsetzung. Themenschwerpunkte liegen in der Entwicklung innovativer Katalysertechnologien und -methoden sowie nachhaltiger Katalyseprozesse.

Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung (IOM):

Das Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung befasst sich mit der applikationsspezifischen Modifikation von Werkstoffoberflächen und dünnen Schichten mittels Laser-, Ionen-, Elektronen- oder Plasmaverfahren. Schwerpunkte sind etwa die Mikro- und Nanometerstrukturierung, die Erzeugung funktionaler Schichten und die Entwicklung gerätetechnischer Grundlagen und Methoden zur Prozesskontrolle.

Leibniz-Institut für Polymerforschung (IPF):

Das Leibniz-Institut für Polymerforschung erarbeitet wissenschaftliche Grundlagen polymerer Materialien und untersucht Fragen zur Synthese und Modifikation dieser Werkstoffe bis hin zu deren Verarbeitung, Charakterisierung und Prüfung. Ein Schwerpunkt liegt in der Gestaltung von Polymergrenzflächen zur Steuerung der Materialeigenschaften und zum Aufbau von Verbundwerkstoffen.

Max-Planck-Institut für Eisenforschung (MPIE):

Das Max-Planck-Institut für Eisenforschung erforscht die Eigenschaften von Metallen und Legierungen, insbesondere von Stahl. Dabei wird ein spezielles Augenmerk auf die Charakterisierung der kristallinen und atomaren Strukturen von Hochleistungswerkstoffen gelegt. Dies umfasst die Analyse der elektrochemischen und physikalischen Prozesse an den Oberflächen und Grenzschichten des Materials sowie die Simulation dieser Vorgänge, um die Auswirkungen auf den Materialverbund einschätzen zu können.

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Neue Werkstoffe, Nanotechnologie; KIT
53170 Bonn

Stand

Januar 2015

Druck

BMBF

Gestaltung

Stefanie Jelic, Projektträger Jülich (PtJ), Forschungszentrum Jülich GmbH

Konzept und Redaktion

Projektträger Jülich (PtJ), Forschungszentrum Jülich GmbH
VDI Technologiezentrum GmbH

Bildnachweis

Titel, S. 4/5, S. 17, S. 18/19, S. 35 r., S. 40, S. 55: Ralf-Uwe Limbach, Forschungszentrum Jülich GmbH | S. 6 l.: CeramTec | S. 6. m.: ©iStockphoto.com/rihardzz | S. 6 r.: ©iStockphoto.com/sdlgzps | S. 7 o. l.: ©iStockphoto.com/alle12 | S. 7 o. r.: ©iStockphoto.com/Meinzahn | S. 7 u. l.: shironosov/iStock/Thinkstock | S. 7 u. r.: ©iStockphoto.com/aydinmutlu | Grafiken S. 6/7, S. 16, S. 20–23, S. 27/28, S. 52: PtJ | S. 8 v. o. n. u.: ©iStockphoto.com/Nisangha; ©iStockphoto.com/PhilAugustavo; ©iStockphoto.com/matteo69; ©iStockphoto.com/Creativstock | S. 9 v. o. n. u.: ©thinkstock/iStock/omada; ©thinkstock/iStock/hxdyl; A. Titscher, A. Kwade, iPAT, TU Braunschweig; ©thinkstock/iStock/DutchScenery | S. 10 v. o. n. u.: ©iStockphoto.com/Squaredpixels; ©iStockphoto.com/PeopleImages; ©iStockphoto.com/Kuzihar; ©iStockphoto.com/gerenme | S. 11 v. o. n. u.: ©Ingo Bartussek; Fotolia, ©thinkstock/Steve Gorton; ©rista-media.de - Fotolia; ©Kara - Fotolia | S. 12 v. o. n. u.: ©thinkstock/iStock/Kesu01; ©thinkstock/iStock/DarioLoPresti; ©thinkstock/iStock/Gilberto Mevi Rocchetti; Fraunhofer ILT; Aachen /Volker Lannert | S. 13 v. o. n. u.: ©thinkstock/iStock/llebbid; ©iStockphoto.com/nicolas_; MAGMA GmbH; ©thinkstock/iStock/iamacintosh | S. 15, 32, 41: MAI Carbon Cluster Management GmbH | S. 24: LDProd/iStock/Thinkstock | S. 25: ©iStockphoto.com/PeskyMonkey | S. 26: ©iStock.com/Rawpixel | S. 29: ©iStockphoto.com/eyewave | S. 30: Audi AG | S. 31: ©iStockphoto.com/Maxiphoto | S. 33 l.: BASF SE | S. 33 r., 39: © Siemens AG | S. 34: Purestock/Thinkstock | S. 35 l.: atech innovations gmbh | S. 36: Fraunhofer ILT; Aachen /Volker Lannert | S. 37 l.: MAGMA GmbH | S. 37 r.: ©iStockphoto.com/aalex | S. 38: ©thinkstock/iStock/Eyematrix | S. 42: ©iStockphoto.com/matteo69 | S. 43: ZSW/M. Duckek | S. 44: ©Copyright BMW AG, München | S. 45 l.: © K. Dobberke für Fraunhofer ISC | S. 45 r. Bayer MaterialScience AG | S. 47: ©Bettina Gehbauer-Schumacher, smartskript | S. 48/49: ©iStockphoto.com/kemalbas | S. 50: ©iStockphoto.com/richterfoto | S. 51: Comstock/Stockbyte/Thinkstock | S. 53: froxx/iStock/Thinkstock

Diese Publikation wird als Fachinformation des Bundesministeriums für Bildung und Forschung kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

