

# Innovations- und Marktpotenzial neuer Werkstoffe

## Monitoringbericht 2007

Leif Brand, Heinz Eickenbusch, Andreas Hoffknecht, Oliver Krauß,  
Axel Zweck  
(Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum  
GmbH)

Dirk Pohle  
(Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung)

Herausgeber:  
Zukünftige Technologien Consulting  
der VDI Technologiezentrum GmbH  
Graf-Recke-Str. 84  
40239 Düsseldorf

im Auftrag und mit Unterstützung des

Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Dieser Monitoringbericht entstand im Rahmen des Vorhabens „Maßnahmen zur Unterstützung der Förderung von Innovationen auf dem Gebiet „Nanomaterialien, Neue Werkstoffe“ (StützWerk, Förderkennzeichen SW0709) der VDI Technologiezentrum GmbH in Kooperation mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) im Auftrag und mit Unterstützung des BMBF, Referat 511.

Durchführung: Dr. Leif Brand,

Dr. Heinz Eickenbusch,

Dr. Andreas Hoffknecht,

Dr. Oliver Krauß,

Dr. Dr. Axel Zweck

Zukünftige Technologien Consulting der VDI Technologiezentrum GmbH

Dirk Pohle

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Kontakt: Dr. Andreas Hoffknecht (hoffknecht@vdi.de)

Zukünftige Technologien Nr. 72  
Düsseldorf, im Oktober 2007  
ISSN 1436-5928

Für den Inhalt zeichnen die Autoren verantwortlich. Die geäußerten Auffassungen stimmen nicht unbedingt mit der Meinung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung überein.

Außerhalb der mit dem Auftraggeber vertraglich vereinbarten Nutzungsrechte sind alle Rechte vorbehalten, auch die des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung.

Titelbild:

Oben links: Aerogele (Quelle: NASA/JPL)

Oben rechts: Farbstoff-Solarzelle (Quelle: FhG ISE)

Unten links: Graphene (Quelle: University of Manchester)

Unten rechts: Einsatz von CNT-Kompositen in der Automobilindustrie (Quelle: Ford)

Zukünftige Technologien Consulting (ZTC)  
der VDI Technologiezentrum GmbH

Graf-Recke-Straße 84  
40239 Düsseldorf

Die VDI Technologiezentrum GmbH ist im Auftrag und mit Unterstützung des  
**Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)** tätig.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>INNOVATIONSANALYSEN, TECHNOLOGIEANALYSEN/ROADMAPS</b>	<b>9</b>
2.1	Zusammenfassende Betrachtung	9
2.2	Kurzbeschreibungen der gesichteten Analysen	23
<b>3</b>	<b>MARKTSTUDIEN</b>	<b>95</b>
3.1	Zusammenfassende Betrachtung	95
3.2	Kurzbeschreibungen der gesichteten Marktstudien	99
<b>4</b>	<b>INTERNATIONALE FÖRDERPROGRAMME, KONFERENZEN</b>	<b>149</b>
4.1	Zusammenfassende Betrachtung	149
4.2	Kurzbeschreibungen der internationalen Förderprogramme	151
4.3	Kurzbeschreibungen der internationalen Konferenzen	165
<b>5</b>	<b>FAZIT</b>	<b>171</b>
	<b>ANHANG</b>	<b>173</b>
	Übersicht aller gesichteten Innovations- und Technologieanalysen, Marktstudien, Förderprogramme und Konferenzen	173



## 1 EINLEITUNG

Der vorliegende Monitoringbericht entstand im Rahmen des Vorhabens „StützWerk“ für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) der VDI Technologiezentrum GmbH in Zusammenarbeit mit der BAM im Auftrag und mit Unterstützung des BMBF.

Folgende Zielsetzungen werden im Rahmen von StützWerk verfolgt:

- die Forschungsförderung strategisch weiterzuentwickeln und an aktuelle technologische Entwicklungen, marktwirtschaftliche Erfordernisse und gesellschaftliche Herausforderungen anzupassen,
- einen geeigneten Rahmen für die Verwertung der Ergebnisse zu schaffen,
- die Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten stärker bekannt und attraktiver zu machen,
- die relevanten Akteure des Innovationsprozesses einzubinden,
- den Kontakt zu weiteren Initiativen, Maßnahmen und Akteuren der Werkstoffforschung auszubauen und zu verstetigen,
- sowie den gesellschaftlichen Nutzen und die Bedeutung der Werkstoffforschung in der Öffentlichkeit stärker hervorzuheben.

Im Rahmen eines kontinuierlichen und systematischen Screening- und Monitoringprozesses werden Informationen über das Innovations- und Marktpotenzial von Werkstoffen akquiriert. Es werden Innovationsanalysen, Technologieanalysen, Roadmaps und Marktstudien zu Werkstoffen sowie Informationen zu internationalen Förderprogrammen und Konferenzen gesammelt. Die gewonnenen Informationen sind in Form von Kurzbeschreibungen in diesem Bericht dokumentiert.

Der vorliegende Monitoringbericht stellt in diesem Sinne eine Materialsammlung dar. Die wichtigsten Themen, die aus den analysierten Informationsquellen hervorgehen, sind in einem zusammenfassenden Abschnitt jeweils zu Beginn der einzelnen Kapitel dargestellt. Im Anhang befindet sich eine Tabelle, die alle gesichteten Informationsquellen in der Reihenfolge ihres Auftretens in diesem Bericht enthält. Diese Tabelle ordnet die einzelnen Informationsquellen inhaltlich den betreffenden Werkstoffklassen und Anwenderbranchen zu. Sie ermöglicht so das gezielte Aufsuchen der Kurzbeschreibungen von den Studien, Förderprogrammen oder Konferenzen, die für eine bestimmte Materialklasse oder einen bestimmten Anwendungsbereich relevant sind.

Diese erste Sammlung kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Der Bericht spiegelt den derzeitigen Stand der Informationsakquisition wider. Der Monitoring-Prozess wird im Rahmen des Auftrages kontinuierlich fortgeführt. Dazu werden weitere und neu erschienene Analysen bzw. Informationsmaterialien recherchiert.

Diese Informationssammlung ist der erste Schritt eines mehrstufigen Prozesses. Die skizzierten Ergebnisse enthalten eine vergleichende Einordnung hinsichtlich ihrer technologischen Bedeutung für die Zukunft. Sie können Anregung für neue FuE-Aktivitäten geben oder die Basis für weitere vertiefende Analysen und Bewertungen bilden. Im Rahmen nicht öffentlicher Handlungsempfehlungen werden die Ergebnisse und Daten auf Ihre Relevanz für mögliche Fördermaßnahmen des BMBF analysiert.

## 2 INNOVATIONSANALYSEN, TECHNOLOGIE-ANALYSEN/ROADMAPS

### 2.1 Zusammenfassende Betrachtung

Die Werkstoffwissenschaften stellen eine breite Querschnittstechnologie dar, die für zahlreiche wirtschaftliche Bereiche, wie die Automobilbranche, den Flugzeugbau, den Industrie- und Verbrauchsgütersektor, das verarbeitende Gewerbe, den Maschinen- und Anlagenbau, die Medizintechnik und viele Andere, von entscheidender Bedeutung ist. Im Zuge des Monitoringprozesses wurden zahlreiche Studien hinsichtlich der Erkennung besonderer Innovationen, Trends, Technologieentwicklungen und Anwendungspotenziale innerhalb des Material- und Werkstoffbereiches ausgewertet. Die meisten dieser Dokumente konzentrieren sich dabei auf bestimmte Werkstoffklassen, Technologien oder Anwendungsbranchen und beziehen sich auf bestimmte Länder oder Regionen. Sie enthalten daher auch viele Aspekte, die sehr spezifisch für die industriellen und ökonomischen Eigenheiten des jeweils betrachteten Landes oder der Region sind. Hinsichtlich der Werkstoffe selbst stehen vor allem **Leichtbaumaterialien**, **intelligente Werkstoffe** sowie Materialien mit speziellen thermischen, elektronischen oder photonischen Eigenschaften im Mittelpunkt. Die Schwerpunkte bei den Werkstoffklassen, deren technologische Entwicklung in den einzelnen Berichten analysiert wird, liegen bei den **Verbundwerkstoffen** und **Nanomaterialien** und in zweiter Linie bei den **Metallen**. Auch wenn diese Sammlung von Innovations- und Technologieanalysen bei weitem nicht vollständig ist, spiegelt die Häufung von gefundenen Studien bzw. Roadmaps zu Verbund- und Nanomaterialien das hohe Entwicklungs- und Innovationspotenzial dieser Werkstoffarten wider.

Neben wissenschaftlichen Innovationen und Potenzialen, die sich für bestimmte Materialien und Werkstoffklassen abzeichnen und auf die weiter unten detaillierter eingegangen wird, lassen sich aus den Studien einige grundsätzliche Trends ableiten, die neben technologischer auch von gesellschaftlicher Relevanz sind. So besteht angesichts der Globalisierung und der sich verstärkenden Wettbewerbssituation der Unternehmen speziell in den entwickelten Ländern ein verstärkter Bedarf nach innovativen Werkstoffen, die es Unternehmen erlauben, dem sich bei konventionellen Materialien verstärkenden **Preisdruck** auszuweichen (S. 25f, S. 26f, S. 42f). Zudem steht verstärkt der Aspekt der **Nachhaltigkeit** (S. 84f) bei der Entwicklung neuer Materialien und dem generellen Einsatz von Werkstoffen im Vordergrund. In diesem Zusammenhang gewinnt die Verwendung von **Biomaterialien** und **Naturstoffen** sowie die mögliche Bioabbaubarkeit der verwendeten Werkstoffe stetig an Bedeutung (S. 49f). Eine wichtige Rolle in dieser Hinsicht kommt auch dem **Rohstoffrecycling** (S. 40f, S. 56f, S. 60f) sowie der Forderung nach steigender **Energieeffizienz** (S. 32f, S. 42f, S. 84f, S. 86f) bei der Herstel-

Schwerpunkte bei Leichtbau und „intelligenten Materialien“

Hohes Innovationspotenzial für Verbundwerkstoffe und Nanomaterialien

Steigender Bedarf an innovativen Materialien

Nachhaltigkeit im Werkstoffbereich gewinnt an Bedeutung

lung und dem Einsatz von Werkstoffen zu. So stehen etwa Entwicklungen besserer thermischer Isolationsmaterialien und Energiespeicher genauso im Mittelpunkt zahlreicher Studien wie die Möglichkeiten dezentraler effizienter Energieversorgung.

Erfassung von Lebenszykluskosten

Ein wichtiges Thema, das in zahlreichen Studien aufgegriffen wird, ist die Analyse der Kosten und Umwelteinflüsse von Werkstoffen unter Berücksichtigung des gesamten **Lebenszyklus** der daraus gefertigten Produkte (S. 40f, S. 89f, S. 91f). Solche Bilanzen sind besonders wichtig für innovative Materialien, die wegen höherer Herstellungskosten z. B. aufgrund ihrer komplexen Struktur oder hoher Rohstoffkosten, zunächst unattraktiv erscheinen gegenüber etablierten Werkstoffen. **Neue Werkstoffe** haben oft nur dann eine Chance, in bestehende Märkte einzudringen, wenn Vorteile wie längere Haltbarkeit, geringere Kosten und Ressourcenverbrauch während der Nutzung oder bessere Recyclingmöglichkeiten in die Kalkulationen miteinbezogen werden. Gleichzeitig ermöglichen solche Analysen die Bewertung neuer Werkstoffe oder Verfahren bezüglich ihrer Nachhaltigkeit.

Computermodell zur gezielten Werkstoffentwicklung

Viele der analysierten Roadmap-Dokumente nennen den verstärkten Einsatz von **Modellierungs- und Simulationsmethoden** als ein äußerst wichtiges Instrument für die Entwicklung neuer Werkstoffe (S. 36f, S. 40f, S. 78f, S. 84f, S. 89f, S. 93f). Computermodelle und numerische Simulationen sollen die Vorhersage von physikalischen Eigenschaften aufgrund der Materialstruktur ermöglichen und so eine **gezielte Werkstoffentwicklung** für konkrete Anwendungen unterstützen. Besonders die Entwicklung von **Hybrid- und Verbundwerkstoffen, nanostrukturierten Materialien** und **neuer Legierungen** ist auf den Einsatz von Computermodellen angewiesen, stellt aber auch die anspruchsvollsten Anforderungen an die eingesetzten Methoden und Rechenleistungen. Dabei sollen nicht nur das Verhalten eines Werkstoffes unter den zu erwartenden Anwendungsbedingungen untersucht, sondern auch Produktions- und Verarbeitungsprozesse simuliert und auf Grund der gewonnenen Daten optimiert werden.

Fachkräftemangel

Ein gesellschaftliches Hemmnis, auf das zahlreiche Studien vor allem für Europa hinweisen, ist die geringe Neigung zum Studium naturwissenschaftlicher und technischer Fächer. Hier wird ein sich verstärkt abzeichnender **Fachkräftemangel** beklagt und die Erhöhung der Absolventenzahlen angemahnt (S. 26f, S. 73f).

Im Folgenden sind die wesentlichen Aspekte und Trends einiger Werkstoff- und Materialklassen sowie Schwerpunkte zu den wichtigsten Anwendungsfeldern und technologischen Themenbereichen zusammenfassend dargestellt.

## Werkstoffklassen

### *Metalle*

Die Schwerpunkte im Bereich der **klassischen Metallwerkstoffe**, wie Stahl und Aluminium, liegen in erster Linie bei der Verbesserung der **Produktions- und Verarbeitungsprozesse** (S. 42f). Dabei geht es vor allem darum, in allen Produktions- und Verarbeitungsphasen (Gießen, Umformen, Beschichten, Fügen usw.) die Kosten zu senken und den Verbrauch von Energie und Ressourcen bzw. die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren. Ein weiteres Ziel besteht darin, durch den Einsatz neuer Verfahren die Herstellung neuartiger Produkte mit verbesserten Eigenschaften, komplexeren Geometrien usw. zu ermöglichen. Wichtige Optimierungskonzepte beinhalten u. a. die bessere Abstimmung der einzelnen Teilschritte aufeinander, eine höhere Integration aufeinander folgender Verfahrensschritte, einen höheren Grad der Automatisierung und Kontrolle der Prozesse sowie eine Flexibilisierung der Produktionslinien. In den wichtigsten Anwendungsbranchen, der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrtindustrie und dem Anlagen- und Maschinenbau konkurrieren die verschiedenen **metallischen Werkstoffe** (Aluminium, Titan, Magnesium, Stähle) sowohl untereinander, als auch mit anderen Werkstoffklassen, wie z. B. den **polymeren** oder **keramischen Verbundwerkstoffen** (S. 93f).

Optimierung der Verfahrens- und Herstellungsprozesse

Konkurrenz verschiedener Werkstoffklassen

Für viele Anwendungen ist **Stahl** weiterhin der wichtigste metallische Werkstoff, und die Entwicklung neuer Stahlsorten mit verbesserten Eigenschaften wird intensiv vorangetrieben. **Höher- und höchstfeste Stähle** (Advanced High Strength Steels; AHSS) ermöglichen eine Verringerung der Blechdicke bei gleichbleibender Strukturfestigkeit der Bauteile z.B. im Fahrzeugbau (S. 56f). Weiterhin verspricht die Entwicklung „superbiegsamer“ Stahlsorten völlig neue Möglichkeiten im Produktdesign.

Stahl

Im Bereich der **Energieerzeugung** werden neue Werkstoffe mit verbesserten Eigenschaften hinsichtlich Stabilität und Effizienz gesucht. So sind für Gasturbinen etwa **Hochtemperaturlegierungen**, Hochtemperaturkeramiken, verstärkte **Aluminide** und bessere Beschichtungstechnologien relevant. Für Betriebskessel wird die Entwicklung von Stählen für Temperaturen über 700°C und bei Drücken von 350 bar angestrebt (S. 84f).

Energieerzeugung

**Magnesium** bzw. Magnesiumlegierungen oder Magnesium-basierte Metall-Matrix-Komposite bieten sich als **Leichtbauwerkstoffe** für bestimmte Komponenten im Fahrzeugbau an (S. 56f, S. 60f, S. 62f). Hier besteht allerdings noch erheblicher F&E-Bedarf bei den Fertigungs- und Verarbeitungsprozessen, Umformtechnologien und Recyclingverfahren. Für den umwelt- und gesundheitsproblematischen Einsatz von SF<sub>6</sub> während der Verarbeitung von Magnesium müssen Alternativen entwickelt werden.

Magnesiumbasierte Werkstoffe

Oberflächen- und Schichttechnik	<p>Ein besonders wichtiger Bereich der Metallverarbeitung mit weiterhin hohem F&amp;E-Bedarf ist die <b>Oberflächen- und Schichttechnik</b> (S. 25f, S. 26f, S. 32f, S. 42f). Hier wird kontinuierlich nach neuen effizienten und umweltfreundlichen Verfahren gesucht, z. B. für die Chromfreie Behandlung von Aluminiumoberflächen, die Herstellung von mikro- und nanostrukturierten Funktionsschichten oder auch die Produktion von dekorativen Oberflächen.</p>
Metallschäume	<p><b>Metallschäume</b> sind relativ neue Materialien, die eine breite Palette von Anwendungsmöglichkeiten aufweisen (S. 58f, S. 102f). Diskutiert werden sie etwa für Leichtbaustrukturen, Filter, Wärmetauscher, mechanische Dämpfungsmaterialien, Elektroden, Katalysatoren, Sensoren oder biomedizinische Implantate. Das Interesse an Metallschäumen ist mit der Erschließung potenzieller Anwendungen in den zurückliegenden Jahren gestiegen.</p>
Metallschäume in der Klimatechnik	<p>So lassen sich mit Metallschäumen bei Komponenten von Klima- und Kälteanlagen höhere Leistungsdichten erreichen. Zudem können sie kompakter aufgebaut werden. Metallschäume erweitern als Werkstoffe die Möglichkeiten der Formgebung und Konstruktion erheblich. Neuerdings stehen Werkzeuge für eine praxisrelevante Auslegung von <b>Metallschaumkomponenten</b> zur Verfügung, so dass im Vorfeld einer Konstruktion die Anwendungspotenziale abgeschätzt werden können. Als besonders Erfolg versprechende Anwendungen zeichnen sich Wärmetauscher in Kollektoren und Latentwärmespeichern, Strömungsgleichrichter, Rekuperatoren und Kühlelemente für Fluide ab.</p>
Metallschäume als Leichtbau- und Dämpfungsmaterialien	<p>Metallschäume ermöglichen Komponenten mit multifunktionalen Eigenschaften. So ermöglichen sie <b>Leichtbaukonstruktionen</b>, die gleichzeitig Energie absorbieren und thermische Anforderungen umsetzen können. Hier ergeben sich Potenziale, vor allem im Automotive- und Aerospacebereich. Im Unterschied zu vielen Polymerschäumen verbleiben Metallschaumkomponenten nach einer mechanischen Verformung im deformierten Zustand, so dass sie nur einmal benutzt werden können.</p>
Metallschäume: Von Unternehmensseite derzeit noch verhaltenes Engagement aber steigendes Interesse	<p>Derzeit gibt es nur wenige Produkte, die auf Metallschäumen basieren. Mittlerweile ist jedoch ein verstärktes Industrieinteresse festzustellen. Marktfähige Produkte werden sich voraussichtlich zuerst im Kraftwerksanlagenbau (Wärmetauscher), in der Katalysatortechnik sowie bei Latentwärmespeichern ergeben. Durch die vergleichsweise hohen Kosten beschränken sich Anwendungspotenziale jedoch vor allem auf Spezialtechnologien.</p> <p>Das Engagement in Metallschäumen ist insgesamt noch eher gering. Im internationalen Vergleich ist Deutschland derzeit gut aufgestellt und gehört sowohl in Forschung und Entwicklung sowie unternehmensseitig (Hersteller und Verarbeiter) zur Spitzengruppe.</p>

### *Polymere*

Es ist damit zu rechnen, dass der Markt für **Polymerschäume** in den nächsten Jahren durch verstärkte F&E-Aktivitäten seitens der Hersteller getrieben wird (S. 56f, S. 70f, S. 101f, S. 102f). Hier wird in Bezug auf innovative High-End- und **Spezialanwendungen** ein wesentlicher Bedarf gesehen. Einen wichtigen Aspekt der Entwicklung stellt auch die Tatsache dar, dass die Polymerschäum-Hersteller seit langer Zeit sehr intensiv von den Umweltbehörden beobachtet werden, insbesondere hinsichtlich der umfangreichen Verwendung von **Treibmitteln**. Gerade hier gelingt es durch Forschung nach nachhaltigen Alternativen immer besser, umweltfreundlichere Treibmittel und andere **Additive** zu entwickeln, die den gesetzlichen Anforderungen gerecht werden. Parallel hierzu konzentrieren sich die Hersteller darauf, die Eigenschaften und Leistungsfähigkeit ihrer Produkte stetig zu verbessern. So haben etwa die Hersteller expandierbarer **Polystyrole** die Elastizität und die Reinheit ihrer Produkte durch intensive F&E-Maßnahmen in jüngerer Zeit erheblich verbessern können.

Neben anderen F&E-Aktivitäten suchen die Unternehmen verstärkt nach neuen aufschäumbaren Materialien, die für bestimmte Nischenapplikationen verwendet werden können. So wird etwa die Schäumung von Fluoropolymeren und **Spezialkunststoffen**, wie Polysulfonen, intensiv untersucht (S. 49f, S. 102f). Diese Polymere haben ein großes Potenzial, vor allem als feuerfeste Flammenschutzmaterialien im Aerospace Bereich.

Den größten Anteil an der Produktion, wie auch am Markt für Polymerschäume, nehmen **Polyurethane** ein. Sie bieten ein breites Spektrum an Materialeigenschaften, die durch fast beliebige Variationen der beiden Hauptkomponenten Polyol und Polyisocyanat erzielt werden können. Dies erlaubt das Maßschneidern unterschiedlicher, auf ihren speziellen Verwendungszweck angepasster Produkte. Daraus ergibt sich eine Vielfalt von **Hart-, Integral- und Weichschaumstoffen, faserverstärkten Materialien und Elastomeren**. Anwendungsgebiete sind unter anderem der Fahrzeugbau, Isolationsschäume für Gebäude oder Kühlschränke, Matratzen, aber auch Skier und Schuhsohlen.

Industrieseitig sind in Deutschland vor allem Chemieunternehmen im Bereich der Forschung und Entwicklung von Polymerschäumen aktiv.

### *Verbundwerkstoffe*

Von zentraler Bedeutung für eine Vielzahl von Anwendungen und Produkten in fast allen Technologiebereichen sind **Faserverbundwerkstoffe** (S. 40f, S. 51f, S. 56f). Sie bestehen aus **Fasern**, die sich nach Materialtyp, Länge, Durchmesser etc. unterscheiden, und einem meist polymeren **Füll- oder Matrixmaterial**, in das die Fasern in verschiedenen Anordnungen (ungeordnet, gerichtet, als Maschen, Gewebe etc.) eingebettet sind.

Polymerschäume:  
- Steigender Bedarf  
- Verstärkte F&E-Aktivitäten hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Umweltverträglichkeitsaspekten

Polyurethane

Industrieforschung im Bereich Polymerschäume

Faserverbundwerkstoffe

Verstärkungsmaterialien, Fasertypen

Als **Verstärkungsmaterial** werden vor allem **Glas-, Aramid- und Kohlenstofffasern** eingesetzt. Kohlenstofffasern weisen in ihren Eigenschaften gegenüber Aramid- und Glasfasern hinsichtlich Gewicht und Festigkeit eine Reihe von Vorteilen auf. Deshalb werden sie bevorzugt im Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik eingesetzt. Im Unterschied zu den anderen Fasertypen sind Kohlenstofffasern elektrisch leitend. Der Einsatz von Kohlenstofffasern ist im Vergleich noch sehr teuer. So liegt der Preis für die Verstärkungsfasern bei 10-105 €/kg. Nicht kohlenstoffhaltige Fasern kommen in Bereichen zum Einsatz, die sehr preisrelevant sind oder spezielle Materialeigenschaften, etwa als elektrische Nichtleiter, erfordern. Ein Beispiel hierfür sind die Bugbereiche von Flugzeugen, die meist aus Glasfaserwerkstoffen bestehen (Radome). So wird durch den Einsatz von Glasfaserkompositen eine ungestörte Funktion von Radargeräten gewährleistet, die Signale reflektionsfrei ausstrahlen können.

Füll- und Matrixmaterialien

Auf der Seite der **Matrixmaterialien** werden überwiegend **Epoxid-, Polyester- oder Vinylharze** verwendet. Auf allen für die Luft- und Raumfahrttechnik wichtigen Gebieten weisen Epoxidharze deutlich bessere Eigenschaften auf als Polyester- oder Vinylharze. So haften sie besser, sind mechanisch stabiler, schrumpfen weniger bei der Aushärtung und sind beständiger gegen Wasser. Zudem ist der Harzanteil in den Verbundwerkstoffen vergleichsweise gering, so dass sich das Gesamtgewicht des Materials reduziert. Epoxidharze sind teurer als die beiden anderen Harztypen und härten langsamer aus. Mit einem, aus hochwertigen Epoxidharzen gefertigten Produkt, lassen sich stabile und leichte Konstruktionen mit langer Lebensdauer herstellen.

Steigende Bedeutung für Kohlefaserverbundwerkstoffe (CFK)

Innovative, viel versprechende und sich am Markt verstärkt durchsetzende Werkstoffe sind **Kohlefaserverbundwerkstoffe (CFK)** (S. 40f, S. 56f, S. 89f). Ihr Hauptvorteil besteht in ihrem geringen Gewicht, das 70 % geringer ist als das von Stahl und 40 % niedriger als das von Aluminium. Im Vergleich zu anderen Faserkompositen sind sie zwar teurer, ihnen kommt allerdings im Bereich spezieller Leichtbautechnologien, deren Marktfähigkeit sich nicht allein durch den Preis bestimmt, eine zentrale und stark wachsende Bedeutung zu. Hier ist vor allem der Aero- spacesektor zu nennen. So spielen Kohlefaserkomposite beim **Bau von Flugzeugen** eine immer wichtigere Rolle. Aktuelle Beispiele sind der Airbus A380, der zu über 20 % aus CFK besteht, so wie der jüngst in den Markt eingeführte „Dreamliner“ von Boeing, dessen Rumpf und Tragflächen großteils aus CFK gefertigt sind, was das Flugzeuggewicht um 20 % reduziert. Die 14 m hohen Seitenleitwerke des Airbus A 380 gehören zu den größten Strukturen aus CFK-Werkstoffen, die bislang industriell gefertigt werden. Für CFK-Werkstoffe ist in den nächsten Jahren ein erheblicher Bedeutungszuwachs, nicht nur im Flugzeugbau, sondern auch im Zug-, Schiffs- und **Automobilbau**, zu erwarten.

CFK im Flugzeugbau

Große Anwendungsmöglichkeiten für faserverstärkte Kunststoffe und andere Verbundmaterialien ergeben sich auch im stark wachsenden Bereich der **erneuerbaren Energien**. So kommen Verbundwerkstoffe in zunehmendem Maße in **Windkraftanlagen** zum Einsatz (S. 84f).

Verbundwerkstoffe  
im Windenergie-  
bereich

Auf dem Gebiet der Kohlefaserkomposite sind derzeit die USA sowohl in Forschung und Entwicklung und auch in der industriellen Umsetzung innovationsführend. Deutschland zeigt sich im Vergleich eher abwartend, nimmt aber getrieben durch den starken Automobilsektor und das Airbus „Composite Technology Centre“ in Stade in dieser Technologie dennoch einen der vorderen Plätze ein.

USA innovationsfüh-  
rend bei Kohlefaser-  
verbundwerkstoffen

### *Nanomaterialien*

Die Roadmap-Dokumente zu **Nanomaterialien** und **Verbundwerkstoffen** gehen überwiegend aus den EU-geförderten Projekten NanoRoadMap (NRM), SMART und NanoRoad hervor (S. 60f, S. 62f, S. 66f, S. 68f, S. 71f, S. 73f, S. 75f, S. 78f, S. 83f, S. 84f). Es ist interessant zu sehen, dass diese Projekte, wie auch das Roadmap-Programm des englischen National Composites Network (S. 89f, S. 90f, S. 91f, S. 92f, S. 93f), ihre einzelnen Roadmaps nach großen Anwendungsbranchen, etwa Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt, Medizin und Gesundheit, Energie, aufteilen. An dieser Aufteilung der Roadmaps wird die starke Anwendungsorientierung dieser innovativen Werkstoffklassen deutlich.

Roadmaps zunehmend  
nach Anwendungs-  
branchen gegliedert

Der Übergang vom aktuellen wissenschaftsbasierten, entdeckungsgetriebenen zu einem anwendungsorientierten Ansatz in der Entwicklung von Nanomaterialien wird auch in der „Chemical Industry R&D Roadmap for **Nanomaterials By Design**“ der chemischen Industrie in den USA angestrebt (S. 36f). Für die Umsetzung dieses Paradigmenwechsels ist ein umfassendes, systematisches Verstehen der Zusammenhänge zwischen der nanoskaligen Struktur eines Materials und den daraus resultierenden Werkstoffeigenschaften erforderlich. Die Vision für das Jahr 2020 sieht eine „Bibliothek“ von Nanomaterialien und Fertigungstechnologien vor, die es ermöglicht, ein Material mit den gewünschten Eigenschaften für eine bestimmte Anwendung kosteneffektiv nach dem „Baukastenprinzip“ herzustellen. Ein ähnlicher Ansatz wird auch von der EU-Technologieplattform EuMaT unterstützt.

Ziel: Anwendungs-  
orientierter Entwick-  
lungsansatz für Na-  
nomaterialien

Die wesentlichen **Anwendungsfelder** und Märkte für Nanomaterialien werden im Energie- und Umweltbereich, im Transportsektor sowie im Gesundheits- und Lifestylebereich gesehen

Anwendungsbereiche

Im **Energiesektor** sind neue Materialien vor allem dann interessant, wenn sie ein besseres Verhältnis aus Herstellungskosten und Energieumwandlungseffizienz bieten (S. 40f, S. 66f, S. 71f, S. 84f). Dies gilt insbesondere für die **Photovoltaik**. Nanotechnologische Ansätze für neuartige Solarzellen, die sich derzeit jedoch größtenteils noch im Bereich der Grundlagenforschung befinden, basieren etwa auf Siliziumdünnschichten, Farbstoffsolarzellen (GrätzelZelle), Polymerhalbleiter-Zellen,

Nanomaterialien im  
Energiebereich

Quantenpunkten, Quantenwells sowie Nanoröhren und Fullerenen. Weitere wichtige Bereiche mit großem Potenzial für innovative nanotechnologische Werkstoffe sind die **Energiespeicherung** in Batterien, Superkondensatoren und Wasserstoffspeichern, Technologien zur **CO<sub>2</sub>-Abscheidung** und -Speicherung sowie die Energieeinsparung durch **thermische Isolierung**.

#### Thermoelektrizität

Die Stromerzeugung aus einem gegebenen Temperaturgradienten durch den **thermoelektrischen Effekt** war bisher wegen zu geringer Effizienz für kommerzielle Anwendungen nicht geeignet. Die maßgeschneiderte Entwicklung neuer Materialien mit optimierten Eigenschaften auf der Basis von dünnen Schichten, Nanopartikeln, nanokristallinen Werkstoffen oder Nanodrähten macht die Thermoelektrizität wieder interessant (S. 66f, S. 71f). So könnten schon mittelfristig neue thermoelektrische Materialien für die Stromerzeugung aus der Abwärme von Automotoren oder Mikroprozessoren genutzt werden.

#### Nanomaterialien im Automobilbereich

Im **Automobilbereich** kann der Einfluss der **Nanotechnologien** und verwandter Technologien auf die Entwicklung und Fertigung von Automobilen in 10 Jahren bis zu 60% betragen. Dabei können bei nahezu allen Fahrzeugkomponenten Verbesserungen durch den Einsatz von Nanomaterialien bzw. Nanokompositen erzielt werden (S. 62f). Ein zentraler Punkt ist die **Gewichtsreduzierung** durch die Verwendung neuer **Leichtbaumaterialien** aus dem Nanotechnologie- und Verbundwerkstoffbereich. Dies gilt vor allem für Strukturkomponenten, wie Chassis und Karosserien. Hier werden vor allem Verbundwerkstoffe aus konventionellen Basismaterialien (Aluminium, Magnesium, Edelstahl Polymere) eingesetzt und mit Nanopartikeln, -fasern oder -kristallen verstärkt. Für **Kohlenstoffnanoschäume** wird noch ein größerer Forschungsbedarf bis zur Anwendungsreife gesehen. Auch im Antriebsstrang sollen neue Leichtbaumaterialien zum Einsatz kommen. Vor allem **faserverstärkte Nanopolymere** haben hier neben neuartigen Legierungen mittelfristig ein großes Potenzial. Die Nutzung von nanokeramischen Komposit-Materialien ermöglicht ein völliges Überdenken der inneren Struktur von Verbrennungsmotoren und der **Beschichtungen** ihrer Komponenten. Durch Carbid-Beschichtungen oder ähnliche Materialien könnten verschleißfeste Zylinder, Kolben, Lager und andere mechanische Teile erreicht werden. Weitere Vorteile, die für einen wachsenden Einsatz von Nanokompositen im Fahrzeugbau sprechen, sind bessere Korrosionsbeständigkeit, Geräuschdämpfung, bessere mechanische Eigenschaften und höhere **Recyclingfähigkeit**. Durchsetzen werden sich aber nur die Werkstoffe, die zu keiner wesentlichen Preiserhöhung führen und den hohen Sicherheitsanforderungen der Branche genügen.

#### Anwendungspotenzial für Nanomaterialien

#### Nanomaterialien im Aerospacebereich

Ein ähnliches Anwendungspotenzial kann in der **Luftfahrtindustrie** gesehen werden (S. 60f). So soll der Einsatz von **Nanomaterialien** eine Reihe von Zielstellungen unterstützen: Senkung der Anschaffungskosten von Flugzeugen um 35%, Senkung der Wartungskosten um 25%, Redu-

zierung des Treibstoffverbrauchs um 20%, Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 50% und der Stickoxid-Emissionen um 80% sowie Verringerung des internen und externen Lärms auf die Hälfte der aktuellen Durchschnittswerte. Aus einigen Tragstrukturen im Flugzeugbau sind **kohlefaserverstärkte Kunststoffe** (CFK) nicht mehr wegzudenken. Für solche Strukturkomponenten der Flugzeugzelle sind neben den Polymer-Matrix-Kompositen vor allem auch **Kohlenstoff-Nanoschäume** sowie **Nano-Komposite** auf der Basis von Metallen, Keramiken und Kunstharzen von Bedeutung. Als Füller kommen Kohlenstoff-Nanopartikel, Polyedrische oligomere Silsesquioxane (POSS) oder SiC-Nanofasern in Frage. Forschungs- und Entwicklungsbedarf sieht man bei der Widerstandsfähigkeit und Robustheit **neuer Verbundwerkstoffe**, bei der Skalierbarkeit zu großen Teilen und hohen Stückzahlen und bei der Automatisierung der Herstellungsprozesse. Technologien für das Zusammenfügen und die Reparatur von großen Verbundwerkstoffteilen sowie das Bruchverhalten und die Langzeitbeständigkeit müssen ebenfalls weiter erforscht werden. Bei Triebwerken und Triebwerkkomponenten verspricht man sich neben der **Gewichtsreduzierung** durch den Einbau von Leichtbauwerkstoffen auch Verbesserungen bei der Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit sowie eine Optimierung der Verbrennungsprozesse und Reibungseigenschaften durch den Einsatz von Nanomaterialien und **nanostrukturierten Beschichtungen**. Hier spielen vor allem Legierungen auf der Basis von Aluminium, Magnesium und Titan mit nanokristallinen Strukturen sowie Carbid-Beschichtungen und (langfristig) Bornitrid eine wichtige Rolle.

Emissionsreduktion;  
Leichtbau

Forschungsbedarf bei  
neuen Verbund-  
werkstoffen

Tribologische Verbes-  
serung

Im Medizin-, und Gesundheitsbereich (S. 68f) schreitet die Entwicklung von Nanopartikeln als Arzneistoffträger für die gezielte und kontrollierte Wirkstofffreisetzung im Körper schnell voran. Solche Drug-Delivery-Systeme werden für die verschiedensten Einnahmeformen, wie orale Einnahme, Inhalation, Injektion oder über Implantate diskutiert. Während einige Ansätze schon sehr weit und z. T. bis in die klinische Testphase gediehen sind, reichen andere Visionen noch weit in die Zukunft und eine Marktreife zeichnet sich derzeit noch nicht ab.

Nanomaterialien als  
Wirkstofftransport-  
systeme

Eine Große Zahl von Patenten zur Entwicklung von Nanomaterialien bezieht sich schon jetzt auf Anwendungen im Kosmetikbereich. So werden z. B. für Zahnpasten, Hautcremes, Sonnenschutz, Parfum, Shampoos, Nagellacke und Lippenstifte Nanomaterialien entwickelt oder bereits eingesetzt.

Nanomaterialien im  
Kosmetik- und Kon-  
sumgüterbereich

Weitere interessante Einsatzgebiete für Nanomaterialien sind u. a. in der bildgebenden Diagnostik, Medikamententwicklung, Gewebezüchtung, Genomforschung und Proteomik zu sehen.

Medizintechnische  
Anwendungen

zahlreiche Studien jedoch auch weit in die Zukunft. Dies gilt insbesondere etwa bei der Abschätzung der Potenziale hinsichtlich sich abzeichnender Alternativen zur heutigen integrierten siliziumbasierten Elektronik

oder einer potenziellen Verwendung von Nanomaterialien als Systeme für zukünftige Quantencomputer.

Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) als viel versprechendes Nanomaterial

**Kohlenstoff-Nanoröhren** gelten als eines der aussichtsreichsten Materialien der Nanotechnologie. Sie wurden 1991 in der NEC Forschungsabteilung von Sumio Iijima bei elektronenmikroskopischen Untersuchungen von Fullerenen entdeckt. Sie treten als einschalige Nanoröhren (SWNTs) und mehrschalige Nanoröhren (MWNTs) in Erscheinung. CNTs weisen eine besondere mechanische und thermische Stabilität und außergewöhnliche elektronische Eigenschaften auf. So können SWNTs je nach Aufbau halbleitend oder metallisch leitend sein. Im Zusammenhang mit diesen Eigenschaften wird eine Vielzahl von Anwendungen diskutiert, von denen einige sehr weit in die Zukunft reichen und sich in einem noch frühen Forschungsstadium befinden. Hierzu gehören etwa die Verwendung von Feldeffekttransistoren und Verbindungsleitungen in der **Mikro- und Nanoelektronik** oder Einzelelektronenquellen, wie sie für **quantenkryptographische Applikationen** von Interesse sein können. Andere Anwendungen reichen jedoch bereits bis zum Labormuster- und Prototypenstadium oder haben gar schon den Übergang zu marktfähigen Produkten geschafft. Zu letzteren gehören insbesondere CNT-basierte Kompositmaterialien, die als **Sport- und Lifestyleprodukte** (Tennisschläger, Fahrradrahmen etc.) oder als Antistatikkomponenten (z. B. Benzinleitungen) im Automobilbereich bereits eingesetzt werden.

CNT-Anwendungen reichen teilweise weit in die Zukunft

Kohlenstoff-Nanoröhren-basierte Verbundwerkstoffe

Im Kompositbereich kommen **CNT-Verbundwerkstoffe** (S. 60f, S. 62f) vor allem als elektrisch oder thermisch leitfähige Polymerkomposite zur Anwendung. Die Einsatzmöglichkeiten elektrisch leitfähiger CNT-Komposite sind kaum überschaubar und reichen von Computer- und Handy-Gehäusen für die Abschirmung von elektromagnetischer Strahlung bis hin zu antistatischen Fußböden und großflächigen Heizelementen. Neben der Herstellung von leitfähigen Kunststoffen steht die Übertragung der mechanischen Eigenschaften der CNTs im Fokus der Entwicklung von **CNT-Polymerkompositen**. Hier werden CNT-Komposite als Alternative für konventionelle Faserverbundwerkstoffe intensiv erforscht.

Elektrodenmaterialien

Als aussichtsreich kann auch der Bereich elektrochemischer Anwendungen angesehen werden (S. 66f). Hier werden CNTs als **Elektrodenmaterialien** für Batterien, Superkondensatoren und Brennstoffzellen getestet oder als neue Aktormaterialien eingesetzt.

CNT-Displays

Im Prototypenstadium befinden sich Anwendungen als Feldemitter in Flachbildschirmen (S. 60f). Hier wurden in den zurückliegenden Jahren große Fortschritte erzielt, jedoch sehen sich **CNT-Bildschirme** einer dominanten Position der etablierten Flachbildschirmtechnologien sowie weiteren Zukunftstechnologien, wie etwa OLED-Displays, gegenüber.

Als zumindest vorläufig gescheitert können Bemühungen angesehen werden, Wasserstoff in größeren Mengen reversibel an CNT-Material zu adsorbieren und so eine neue effiziente Energiespeicherung zu etablieren. Hier konnten die ursprünglichen Hoffnungen experimentell nicht realisiert werden.

Wasserstoff-  
speicherung

Weiter in die Zukunft reichen neben nanoelektronischen Anwendungen auch nanobiotechnologische Applikationen. Hier werden funktionalisierte Kohlenstoff-Nanoröhren als „**Drug-Delivery-Systeme**“ intensiv erforscht, die Medikamentenwirkstoffe im Organismus zielgenau transportieren (S. 68f).

Wirkstofftransport

Eine zunehmend wichtige Rolle im gesamten Werkstoffsektor, insbesondere aber bei der Beurteilung von Nanomaterialien, spielt der Aspekt der Sicherheit im Nanomaterialbereich sowie die **Gesundheitsverträglichkeit** der Materialien und Herstellungsprozesse (S. 66f, S. 69f, S. 73f). Speziell hier müssen im Sinne einer breiten Akzeptanz noch weitere Forschungsanstrengungen unternommen werden. Hinsichtlich des vermehrten Einsatzes von CNT-Material gilt dies insbesondere auch für Kohlenstoff-Nanoröhren. So gestaltet sich die Einschätzung der **Biokompatibilität bzw. Toxizität von Nanoröhren** derzeit noch weitgehend unklar. Eine Vielzahl von Untersuchungen an *in vitro* Zellkulturen und *in vivo* Tierversuche zeigen sehr unterschiedliche und teilweise sogar widersprüchliche Ergebnisse. Hier ist zu bemerken, dass die Laborverhältnisse hinsichtlich der Ausgestaltung der Tests, des eingesetzten Materials und der Konzentration der Teilchen oft weit von den realen Verhältnissen entfernt sind. Erschwerend erweist sich auch die unterschiedliche, von Produktionsstätte zu Produktionsstätte und oft auch von Charge zu Charge variierende Qualität der Nanoröhren, die die Reproduzierbarkeit der Testergebnisse einschränkt. Zudem haben sich derzeit noch **keine einheitlichen Teststandards** durchgesetzt, so dass unterschiedliche Forschungsinstitutionen zu oft stark differierenden Resultaten kommen. Insgesamt besteht auf dem Gebiet der **Biotoxizität** von Nanomaterialien ein starker Bedarf an der Entwicklung nachhaltiger, breit anwendbarer Untersuchungsleitlinien. Ein Engagement in diesem Punkt erfordert eine intensive Kooperation von Medizin- und Biowissenschaftlern einerseits und Materialexperten andererseits. Kooperationen dieser Art werden derzeit verstärkt in Angriff genommen.

Biokompatibilität von  
Nanomaterialien

Bedarf an standardi-  
sierten Testverfah-  
ren zur Gesundheits-  
verträglichkeit

In Deutschland widmen sich einige Forschungsinstitute und Wissenschaftsgruppen dem Themenbereich der Kohlenstoff-Nanoröhren sehr intensiv und gehören qualitativ zur Spitze der weltweiten CNT-Forschung. Insgesamt ist Deutschland im CNT-Bereich jedoch nur unterdurchschnittlich vertreten. Dies gilt für den Forschungssektor, wo das Publikations- und Patentaufkommen deutlich hinter dem anderer Staaten zurückliegt, wie auch für den kommerziellen Bereich. Hier sind deutsche Unternehmen hinsichtlich der Entwicklung **CNT-basierter Produkte** oder Materialien deutlich zurückhaltend. Erfreulicherweise gibt es mitt-

Verhaltenes Engage-  
ment bei Kohlen-  
stoff-Nanoröhren in  
Deutschland

lerweile allerdings einige Industrieunternehmen, wie Bayer, SGL, Degussa u. a., die Interesse an CNT-Kompositmaterialien zeigen.

Graphen langfristig aussichtsreich; derzeit noch sehr grundlagenorientiert

Als langfristig viel versprechendes, wenn auch zum heutigen Zeitpunkt noch stark im Grundlagenstadium befindliches, neues Material kann **Graphen** angesehen werden (S. 34f). Das zweidimensionale Material, das aus einer einfachen Graphitlage besteht, konnte 2004 erstmals unter Raumtemperaturbedingungen hergestellt werden. Die derzeit diskutierten Anwendungen beziehen sich vor allem auf die herausragenden elektrischen und thermischen Eigenschaften des Materials. Weiterhin spielt die große Steifigkeit entlang der Basalebene der Monolagen bei der Diskussion von **graphenbasierten Kompositmaterialien** eine Rolle. Ähnlich CNT-basierten Polymerkompositen sind graphenbasierte Verbundwerkstoffe sowohl mechanisch stabil, als auch elektrisch und thermisch leitend. Allerdings lassen sich nach heutigen Einschätzungen Graphen-Komposite im Vergleich kostengünstiger und mit definierterer Qualität herstellen, so dass sie sich potenziell für Anwendungen im Flugzeugbau eignen, die leichtgewichtige, elektrisch leitende Materialien hoher Stabilität erfordern. Weitere Applikationen für graphenbasierte leitfähige Kunststoffe könnten sich im Bereich der Solarzellen oder der Dissipation von Abwärme, wie sie z. B. in Computern entsteht, ergeben. Insgesamt kristallisieren sich für Graphen Applikationen als leitfähige Verbundmaterialien, als Gassensoren und als Elektrodenmaterialien für Batterien, Superkondensatoren oder Brennstoffzellen heraus. Weiter in die Zukunft reichen Überlegungen hinsichtlich der Verwendung von Graphen für mikro- und nanoelektronische Komponenten. So wird die Eignung von Graphenen als nanoskalige Feldeffekttransistoren derzeit intensiv diskutiert. Hier reiht sich Graphen in die Liste potenzieller Silizium-Alternativen ein, die vor dem Hintergrund der bald erreichten Grenzen der Miniaturisierbarkeit in der klassischen Si-Elektronik intensiv erforscht werden.

Zukünftige graphenbasierte Materialien  
- Verbundwerkstoffe  
- leitfähige Kunststoffe  
- Elektrodenmaterialien

Steigendes Interesse an Graphen

In jüngster Zeit ist in der materialwissenschaftlichen Fachliteratur ein massiv steigendes Interesse an Graphenen festzustellen. Im Publikationsaufkommen sind die USA und Großbritannien führend. In Deutschland sind dagegen nur sehr wenige Aktivitäten zu verzeichnen.

Bei der **Graphen-Forschung** handelt es sich um ein noch sehr **junges Wissenschaftsfeld**, das sich derzeit noch in einem frühen Stadium befindet. Dies gilt sowohl für die diskutierten Anwendungen als auch für die Herstellungsprozesse. So stellt eine zuverlässige Produktion großer Mengen isolierter Graphenschichten derzeit noch eine große Herausforderung dar, und die Qualität gestaltet sich für den Masseneinsatz noch unzureichend.

Aerogele viel versprechende nanoporöse Matrixmaterialien

Als alternative Matrixmaterialien werden in jüngerer Zeit **Aerogele** diskutiert (S. 45f). Aerogele sind nanoporöse Materialien, die sich durch ein außergewöhnlich niedriges spezifisches Gewicht, eine hohe Belastbarkeit und eine geringe thermische Leitfähigkeit auszeichnen. Anwendungsfelder ergeben sich als Isolationsmaterialien (S. 30f, S. 66f, S. 71f) sowie als **Matrixmaterialien**, die im Verbund mit Fasern (Kohle, Glas, Aramid, Naturstoffe) die Möglichkeit zur Herstellung extrem **leichtgewichtiger Komposite** eröffnen.

Eine Schwachstelle von Aerogelen bildet ihre relativ hohe Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen. So sind **Siliziumdioxid-Aerogele** insbesondere vor Feuchtigkeit zu schützen, da ihr Gerüst aufgrund ihrer chemischen Struktur wasseraufnehmend ist. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die teilweise bereits erfolgreichen Bemühungen um ein tiefgehendes Verständnis ihrer Struktur und die Verbesserung ihrer Eigenschaften in Zukunft zu einer stärkeren Verbreitung der bisher noch relativ unbekanntem Werkstoffgruppe der Aerogele führen wird.

**Aerogel-Komposite** stellen hinsichtlich ihrer Eigenschaften eine aussichtsreiche neue Werkstoffklasse dar, die vor allem im Aerospace und im Automobilbau aber auch im Bereich der Energieeffizienz (Isolationsmaterial) eine große Bedeutung erlangen kann. Abschätzungen ergeben gerade im Wärmebereich erhebliche Einsparpotenziale.

Aerogel-  
Verbundwerkstoffe

Forschungsaktivitäten im Bereich der Aerogele sind vor allem in den USA zu finden. In Deutschland ist die Aerogelforschung dagegen unterrepräsentiert.

USA im Aerogelbereich führend

„*Smart Materials*“

„**Intelligente Werkstoffe**“ oder „**Smart Materials**“ zeichnen sich durch eine selbständige Anpassung an veränderliche Umweltbedingungen (**selbstadaptiv**) aus. Weiterhin werden Materialien, die durch äußere Einflüsse und über integrierte aktive Steuerelemente gezielt in ihren Eigenschaften verändert werden können, als „intelligent“ bezeichnet. Die Aktivierung erfolgt durch mechanische, elektrische, magnetische, thermische oder optische Einwirkungskräfte (S. 25f, S. 49f).

Intelligente Materialien

In zahlreichen Forschungsprojekten werden zunehmend Materialien entwickelt, die sich mit Hilfe von integrierten Sensoren, Aktoren und Regelungstechniken selbstständig an ihre Umgebung anpassen. Bisherige Arbeiten wurden entweder im Rahmen der Grundlagenforschung durchgeführt oder zielten auf die Entwicklung **spezieller Anwendungen** ab, z. B. Luft- und Raumfahrt oder Militär. Da für solche Anwendungen die oft hohen Herstellungs- und Betriebskosten in Kauf genommen werden, konnten diese auch in Einzelfällen realisiert werden.

„Smart-Materials sind selbstadaptiv

Durch Fortschritte in der Forschung (Materialwissenschaft, Mikro- und Nanotechnologie, Biotechnologie etc.) wurden inzwischen wesentliche Voraussetzungen geschaffen, um in naher Zukunft ein **breiteres Anwendungsspektrum** „intelligenter Werkstoffe“ zu erschließen (S. 49f). Wurden bislang eher klassische Materialien wie Metalle, Legierungen und Keramiken verwendet, kommen in den letzten Jahren verstärkt auch andere chemische Substanzen, wie organische und polymere Verbindungen (z. B. **polymere Formgedächtnismaterialien**) zum Einsatz.

Anwendungen intelligenter Materialien ergeben sich u. a. als Sensoren und Aktoren (z. B. Schwingungsdämpfer), als **elektrorheologische Flüss-**

Anwendungsfelder für intelligente Materialien

**sigkeiten** zur Stimulierung von Formveränderungen, für medizinische Implantate oder hydraulische Kupplungen.

Als besonders innovationsträchtig kann das **Anwendungspotenzial** intelligenter Materialien in der Informations-, Verkehrs-, Energie-, Fertigungs- und Medizintechnik angesehen werden. Wurden intelligente Werkstoffe bislang eher in Nischenanwendungen eingesetzt, werden sie mit zunehmender Verfahrens- und Kosteneffizienz langfristig auch für **breitenwirksame Märkte** erschlossen. Für den breiten praktischen Einsatz sind jedoch noch eine Reihe grundlegender Material-optimierungen insbesondere hinsichtlich Zuverlässigkeit, Zyklisierbarkeit und Lebensdauer erforderlich. Als viel versprechend können hier **bionische Prozesse** angesehen werden, mit denen man versucht, Vorbilder aus der Natur nachzuahmen, die durch ihre lange Evolutionsgeschichte optimiert wurden. Aus solchen bionischen Ansätzen können perspektivisch kostengünstige und teilweise mit anderen Verfahren nicht realisierbare Prozesse zur **Werkstoffsynthese** abgeleitet werden. Überdies erhofft man sich, durch einen vertieften Einblick in natürliche Prozesse neue technologische Ansätze für künstliche Synthesen zu gewinnen.

#### *Naturstoffe und Biomaterialien*

Naturstoffe

Unter dem Schlagwort „**Weißer Biotechnologie**“ gewinnen biotechnologische Verfahren für die Herstellung von Werkstoffen zunehmend an Bedeutung. So wird eine wachsende Zahl von Chemikalien und Materialien, wie **Polymere** oder **Keramiken**, unter Einbindung von biotechnologischen Prozessschritten hergestellt. Oft sind diese Verfahren herkömmlichen Technologien hinsichtlich der **Effizienz** und/oder **Nachhaltigkeit** überlegen. Durch **biotechnologische Modifikationen** und Verfahrensschritte können aber auch Materialeigenschaften realisiert werden, wie sie mit konventionellen Technologien nicht möglich sind. Aus ökologischen und Nachhaltigkeitsgründen wird auch ein verstärkter Einsatz von **Naturstoffen** als Ausgangsstoffe für die Herstellung und Verarbeitung von Werkstoffen angestrebt.

„Weiße Biotechnologie“ in den Materialwissenschaften

Biomaterialien

Neue Entwicklungen sind auch im Bereich der **Biomaterialien** auf der Basis von Metallen, Keramiken und Polymeren zu beobachten (S. 81f). Eine Kernfrage, die im Zusammenhang von neuen Materialien für **biomedizinische Anwendungen** immer wieder neu gestellt werden muss, betrifft deren Wechselwirkung mit der biologischen Umgebung bzw. ihre **Biokompatibilität**. „Drug-Delivery-Systeme“, artifizielle Implantate, künstliche Organe usw. sind Anwendungen, für die Biomaterialien auch mit zunehmendem Einfluss der Nanotechnologien entwickelt werden. Weitere Anwendungsfelder liegen im Bereich der Sensorik und Analytik (Mikro-Array, Lab-on-a-chip). Mittel- bis langfristig wird hier auch eine zunehmende Bedeutung von **biomimetischen Materialien** erwartet.

Bionische Materialien

## 2.2 Kurzbeschreibungen der gesichteten Analysen

### **A Strategic Review of the Surface Engineering Industry in the UK**

**Autoren:** Andrew Clarke, Alan Partridge, NAMTEC Ltd.

**Projekt:**

**Land/Region:** Großbritannien

**Umfang:** 46 Seiten

**Datum:** 2006

**Prozess:** Umfrage mit 100 Teilnehmern, 36 Experteninterviews

**Zeithorizont:** k. A.

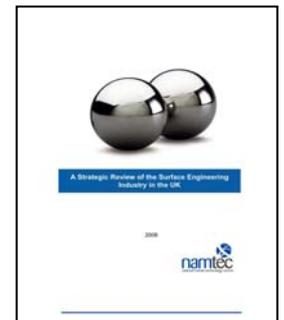
**Werkstoffklasse:** Metalle

Diese Studie enthält eine Analyse der aktuellen Situation der englischen Oberflächenbearbeitungsindustrie und identifiziert Entwicklungshemmnisse, neue Marktchancen, Forschungs- und Entwicklungsbedarf und Innovationspotenziale in diesem Bereich. Das Dokument enthält keine expliziten Prognosen für einen bestimmten Zeitraum in der Zukunft.

Die Oberflächenbearbeitung ist eine sehr breit gefächerte „Enabler“-Technologie für viele Anwendungsbereiche und Werkstoffklassen. Das Feld ist momentan (noch) geprägt durch klassische Verfahren im Bereich der technischen Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen von Metallen zur Verbesserung der Strapazierfähigkeit oder Korrosionsbeständigkeit und weniger durch neuartige Funktionsbeschichtungen (optisch, magnetisch usw.). Die relevanten Technologien umfassen das Galvanisieren, technische Lacke, Eloxieren, Emaillieren, Einsatzhärten, Pulverbeschichtungen, Metallspritzen sowie Bedampfungsverfahren und Sol-Gel-Prozesse.

Die (britische) Oberflächenbearbeitungsindustrie wird im Wesentlichen von vier aktuellen Entwicklungen bedroht: der direkten Konkurrenz aus Niedriglohnländern, dem sukzessiven „Outsourcing“ der Wertschöpfungskette, den verschärften gesetzlichen Vorschriften und Umweltauflagen sowie von dem wachsenden technischen Innovationspotenzial in Schwellenländern, wie China.

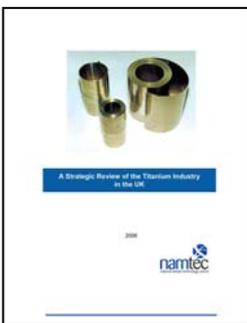
Als technologische Innovationstreiber werden zum einen Umweltaspekte genannt, d.h. die Notwendigkeit der Entwicklung von Produkten und Prozessen ohne Emissionen und die Nutzung schädlicher Substanzen. Zum anderen werden die immer höheren Anforderungen an die Korrosions- und Abnutzungseigenschaften von Oberflächen und Beschichtungen sowie deren opto-elektrisches und thermisches Verhalten als technologische Herausforderungen genannt. Auch die Beständigkeit über die gesamte Lebensdauer ist ein wichtiger Faktor, der vor allem durch neue Modellierungsmethoden besser untersucht werden soll. Weitere techno-



logische Aspekte sind die Entwicklung von hochwertigen „intelligenten“ Funktionsbeschichtungen und die Kostenreduzierung durch die Entwicklung von kostengünstigen Beschichtungen und effizienten Herstellungsverfahren.

Es werden folgende Forschungs- und Entwicklungsprioritäten für die kommenden Jahre genannt: Die Vermeidung von Cadmium und Chrome VI in Beschichtungen und das Ersetzen von lösungsmittelbasierten Reinigungsprozessen durch neuartige Beschichtungs- und Bearbeitungsverfahren wie, z.B. den Sol-Gel-Prozess; Entwicklung von mikro- und nanostrukturierten Beschichtungen und Oberflächen inkl. Mehrschicht- und Verbundsystemen zur Optimierung der mechanischen, thermischen, opto-elektrischen und magnetischen Eigenschaften; Gewinnung von Design-Daten zur Voraussage des Verhaltens eines Systems aus Beschichtung und Substrat unter bestimmten Bedingungen; „Maßschneidern“ von physikalischen Oberflächeneigenschaften zur Herstellung von Funktionsbeschichtungen und intelligenten („smarten“) Werkstoffsystemen; Einsatz von innovativen Beschichtungsverfahren, wie z.B. Sol-Gel, Plasma, Elektronenstrahlbedampfung.

Die Empfehlungen der Studie beziehen sich vor allem auf die Verbesserung des Informationsflusses, der Kommunikation und des Technologietransfers sowie die ausreichende Förderung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im weiten Feld der Oberflächentechnologien. So werden z.B. die Schaffung von Informationsplattformen, die Förderung von Kooperationen zwischen Forschungsinstituten und Industrie, die Schaffung von Netzwerken und Gruppen, die sich um Technologie-Monitoring, Marktbeobachtung und Ausbildungskonzepte für die Branche kümmern und die Entwicklung von speziellen Ausbildungsprogrammen als wichtige Instrumente genannt.



### **A Strategic Review of the Titanium Industry in the UK**

**Autoren:** Martin Marples, Alan Partridge, NAMTEC Ltd.

**Projekt:**

**Land/Region:** Großbritannien

**Umfang:** 67 Seiten

**Datum:** 2006

**Prozess:** Umfrage mit 35 Teilnehmern, 10 Experteninterviews

**Zeithorizont:** k. A.

**Werkstoffklasse:** Metalle

Diese Studie enthält eine Analyse der aktuellen Situation der englischen Titanindustrie und identifiziert Entwicklungshemmnisse, neue Marktchancen, Forschungs- und Entwicklungsbedarf und Innovationspotenzia-

le in diesem Bereich. Das Dokument enthält eine SWOT- und eine PEST-Analyse, aber keine expliziten Prognosen für einen bestimmten Zeitraum in der Zukunft.

Titan und seine Legierungen sind wichtige Werkstoffe mit kontinuierlich wachsendem weltweitem Bedarf. Die Hauptanwendungsbereiche liegen im Industriebau sowie der Luft- und Raumfahrtindustrie. Während für Anwendungen, wie z.B. in der petrochemischen oder pharmazeutischen Industrie die Korrosionsbeständigkeit von Titan entscheidend ist, wird der Werkstoff im Flugzeugbau hauptsächlich wegen seiner geringen Dichte bei gleichzeitiger hoher Stabilität eingesetzt. Andere Anwendungsfelder mit wachsender Bedeutung sind Sport, Medizin, Automobilbau, Architektur und Schmuck. Ein großes Marktwachstum wird bei Entsalzungsanlagen gesehen aber auch im Bereich medizinischer Implantate, wo Titan aufgrund seiner hohen Biokompatibilität zum Einsatz kommt. Die größten Chancen ergeben sich aber in bestehenden (Massen-)Märkten, in denen Titan bis jetzt vor allem aus Kostengründen nicht eingesetzt werden, wie z.B. in der Automobilindustrie. Um in diese Märkte eindringen zu können, ist es notwendig, Technologien zu entwickeln, die eine kosteneffiziente, schnelle Massenproduktion von Titanprodukten mit konstanter Qualität ermöglichen.

Der Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten liegt neben der Entwicklung von Speziallegierungen für Höchstanforderungen im Luft- und Raumfahrtsektor vor allem bei der Verbesserung der Herstellungsverfahren, der Reduzierung von Prozesszeiten und Materialverbrauch. Es wird eine Fokussierung auf folgende Forschungsfelder empfohlen: Modellierung der Mikrostruktur und der Entwicklung von Materialeigenschaften während des Gießens und der thermomechanischen Verarbeitung; Verbesserung der Gießverfahren und Herstellung dünnwandiger, komplexer Formen; Weiterentwicklung der Hochgeschwindigkeitsverarbeitung; Unkonventionelle Bearbeitungs-technologien (z.B. Tiefschleifen, Funkenerosion); Pulververarbeitung; Endformnahe Herstellung; Oberflächenbearbeitung; Entwicklung von Lebenszykluskostenmodellen. Die Entwicklung von Richtlinien zur Anwendung von Titan in der Architektur und im Bau sowie bei Behältern für nukleare Anwendungen wird ebenfalls als notwendig erachtet.

Als größte Gefahren für eine positive Entwicklung der Titanindustrie werden die (Weiter-)Entwicklung alternativer Materialien, wie z.B. Verbundwerkstoffe im Flugzeugbau, die zyklische Marktcharakteristik der Luft- und Raumfahrtindustrie, der Preisanstieg für Rohmaterial sowie die wachsende internationale Konkurrenz vor allem in Russland und China genannt. Potenzielle nichttechnologische Hemmnisse sind ein Mangel an speziell ausgebildeten Arbeitern und eine mangelnde Informationspolitik gegenüber Anwendern und Kunden.

Von politischer Seite sind sowohl Anschläge für die Titanindustrie als auch mögliche Hemmnisse zu erwarten. Zum einen wird ein wachsender

Markt im Rüstungsbereich mit einer steigenden Nachfrage nach immer leichteren Waffen gesehen. Eine wachsende Nachfrage nach Titan für nukleare Anwendungen durch den Einstieg von immer mehr Ländern in die Kernenergie wird ebenfalls prognostiziert. Andererseits muss die Titanindustrie auch mit strengeren Umweltauflagen bei der Herstellung und dem Recycling sowie mit Handelsrestriktionen rechnen.

Von verschiedenen gesellschaftlichen Veränderungen wird eine Nachfragesteigerung nach Titanprodukten erwartet. So rechnet man durch die alternde Gesellschaft mit einem erhöhten Bedarf an Implantaten und anderen biomedizinischen Geräten. Aus Umweltschutzgründen wird der Einsatz von Leichtbauwerkstoffen im Automobilbau steigen. Steigende Einkommen und mehr Freizeit werden die Nachfrage nach hochwertigen Sportgeräten und Konsumartikeln aber auch das Flugverkehrsaufkommen ansteigen lassen.

Folgende Forschungs- und Entwicklungsfelder sollen gefördert werden: Weiterentwicklung und „Scale-up“ von kosteneffizienten Herstellungsverfahren (u. a. alternative Oxid-Reduktionsprozesse); Verbesserte endformnahe Herstellung durch die Entwicklung von Pulververfahren, direkten Abscheidungsverfahren und verbesserten Gießtechnologien; Entwicklung konventioneller und nichtkonventioneller Hochgeschwindigkeitsverarbeitungstechnologien; Verbesserungen bei der Modellierung von Materialien und Prozessen; Entwicklung hochwertiger Beschichtungen zur Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten von Titan.

Neben den Empfehlungen für Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten wird besonders auf eine notwendige Verbesserung des Wissenstransfers innerhalb der Titanindustrie aber auch gegenüber den Anwenderbranchen hingewiesen. Ebenso wird eine verbesserte Ausbildung hinsichtlich der Verarbeitung von Titan bzw. titan-basierten Werkstoffen sowie dem Design und der Konstruktion mit diesen Materialien empfohlen.

### **A Trans-National Analysis of Results and Implications of Industrially-oriented Technology Foresight Studies**

**Autor:** IPTS, Jordi Molas-Gallart (SPRU, UK), Rémi Barré (OST & CNAM, France), Mario Zappacosta & James Gavigan (JRC/IPTS, European Commission)

**Land/Region:** Frankreich, Spanien, Italien, Portugal

**Umfang:** 59 Seiten

**Datum:** Februar 2002

**Prozess:** Vergleich von Foresightstudien

**Werkstoffklasse:** Neue Materialien

Die Studie vergleicht vier verschiedene Foresight-Studien, die sich mit der Leistungsstärke der Industrie in bestimmten Bereichen der vier untersuchten Länder Frankreich, Spanien, Italien und Portugal beschäftigen.

Zunächst werden die jeweils verwendeten Methoden vorgestellt und erläutert, auf welcher Ebene die einzelnen Studien verglichen werden.

Anschließend werden einige ausgewählte Themenbereiche untersucht. Beim ersten handelt es sich um Chemie und neue Materialien. Hier traten Probleme bei der Definition dieses Themenbereiches auf, da diese in einzelnen Ländern unterschiedlich ist und auch die Verbindung zwischen Chemie und neuen Materialien in den einzelnen Ländern unterschiedlich stark bewertet wird.

Als Ergebnis der Untersuchung des ersten Themenbereiches wird unter anderem eine Übersichtstabelle geliefert, welche die Forschungsschwerpunkte der einzelnen Länder in den Bereichen Chemie und neue Materialien enthält. Eine weitere Tabelle enthält Handlungsempfehlungen für die einzelnen Länder.

Ein weiterer auf diese Weise betrachteter Themenbereich ist der Energiesektor.

Die Ergebnisse des Vergleiches der Studien werden schließlich noch zusammengefasst dargestellt.

### **Advanced Energetic Materials**

**Autoren:** National Research Council of the National Academies

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 64 Seiten

**Datum:** 2004

**Werkstoffklasse:** Spezialmaterialien, Nanomaterialien, Verbundwerkstoffe

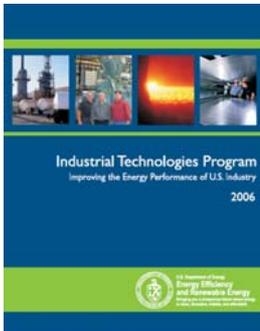
Die Studie untersucht sowohl die militärischen, als auch wissenschaftlichen Forschungsaktivitäten der USA im Bereich der Advanced Energetic Materials. Schwerpunkte liegen unter anderem auf thermobaren Sprengstoffen, reaktiven Materialien und Nano-Kompositen.

Außerdem werden wissenschaftliche Arbeiten, die nicht in den USA erarbeitet wurden und sich mit dem Thema befassen, untersucht.

Weiterhin stellt die Studie für die einzelnen Schwerpunkte Forschungsempfehlungen aus, welche die Forschungsthemen kritisieren oder in eine bestimmte Richtung lenken.

Für die einzelnen Schwerpunkte werden auch Probleme, die bei größeren Produktionsmengen auftreten könnten, untersucht und technische Lösungsmöglichkeiten empfohlen.

Des Weiteren bietet die Studie allgemeine Empfehlungen, wie bei der Förderung des Forschungsgebietes vorgegangen werden sollte. Konkret wird die Forderung nach einem zentralen Management der Forschungsaktivitäten durch das Verteidigungsministerium aufgestellt.



### **Aerogel-Based Insulation for Industrial Steam Distribution Systems**

**Autoren:** Industrial Technologies Program/US Department of Energy

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 3 Seiten

**Datum:** Oktober 2006

**Prozess:** Forschungsprojekt innerhalb des ITP

**Zeithorizont:** etwa 2015

**Werkstoffklasse:** Aerogele

Mit dem vom US Department of Energy aufgelegten Industrial Technologies Program (ITP) sollen in den USA im industriellen Bereich die Energieeffizienzen gesteigert und die Umweltbelastungen reduziert werden. Im Rahmen des Programms werden bis etwa 2020 Kooperationsprojekte zwischen Forschungsinstitutionen und Industrie gefördert, die diesem Ziel dienen. Die Großziele sind:

- Zwischen 2002 und 2020 sollen vor allem energieintensive Industrien ihre Energieeffizienz um 30 % erhöhen.
- Zwischen 2000 und 2010 sollen mindestens zehn neue Energieeffizienz-Technologien kommerzialisiert werden.

Innerhalb des Industrial Technologies Programms befasst sich ein Projekt mit Aerogel-basierten Isolationsmöglichkeiten. Im Fokus steht die Reduzierung von Wärmeverlusten in Heißgas- und Dampfverteilungsröhren, wie sie in vielen Industriebetrieben zum Wärmetransport eingesetzt werden. Hier werden konventionellerweise Steinwolle, Glaswolle, Kalzium-Silikate, Perlite und verschiedene Schäume eingesetzt. Aerogel-basierte Röhrenisolationen haben die gleiche Funktionsweise, übertreffen die konventionellen Materialien jedoch hinsichtlich ihrer Eigenschaften. So haben Aerogele die geringste Wärmeleitfähigkeit aller bekannten Materialien, und die wesentliche Attraktivität besteht in der Minimierung des verbrauchten Materials bei gleicher Isolationsleistung. Neue verfahrenstechnische Entwicklungen erlauben mittlerweile die preisgünstige Herstellung von Aerogelmatten, wobei die Produktion bezüglich der Gewichtsmenge im Vergleich zu konventionellen Materialien nach wie vor teurer ist, allerdings auch nur geringere Mengen gebraucht werden. In den USA existieren etwa 160000 Meilen industrieller Dampfleitungen. Mit Aerogelisolationen lassen sich laut Studie bis 2025 bis zu 37 Mrd kWh entsprechend mehreren 100 Mio US\$ einsparen.

Die wesentlichen Hürden, die in der Studie aufgeführt werden sind

- der geringe technische Informationsstand der Endnutzer hinsichtlich der Verwendung Aerogel-basierter Isolationen
- die geringen Erfahrungswerte beim Einsatz in hochbeanspruchten Leitungen in der Industrie
- eine Reihe technischer Parameter, die derzeit einen breiten Einsatz behindern. Hierzu gehören die Produktionskosten und die Hochtemperaturstabilität.

**Anforderungen an die Fertigungstechnik von morgen - Wie verändern sich Variantenzahlen, Losgrößen, Materialeinsatz, Genauigkeitsanforderungen und Produktlebenszyklen tatsächlich?**

**Autor:** Steffen Kinkel, FhG ISI

**Land/Region:** Deutschland

**Umfang:** 12 Seiten

**Datum:** September 2005

**Prozess:** Auswertung von Fachstudien

**Werkstoffklasse:** Werkstoffe allgemein, Verbundmaterialien

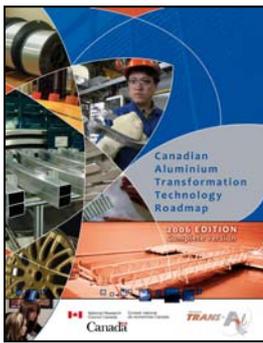
Die Studie befasst sich mit der zukünftig zu erwartenden Änderung von Variantenzahlen, Losgrößen, Materialeinsatz, Genauigkeitsanforderungen und Produktlebenszyklen in der Fertigungstechnik.

Zur Einschätzung dieser Änderungen wurden in den jeweiligen Bereichen Studien herangezogen, welche die jeweiligen Veränderungen der jüngsten Vergangenheit untersuchten.

Im Punkt Materialeinsatz kommt die Studie zum Ergebnis, dass etwa die Hälfte aller befragten Betriebe in Deutschland im Zeitraum von 2001 bis 2003 neue Materialien in der Fertigungstechnik einsetzte, jedoch nur in geringem Umfang. Vorreiter beim Einsatz neuer Materialien ist vor allen Dingen die Automobilindustrie.

Auch bei der Verarbeitung neuer Materialien wie Kohle- und Glasfaser-verbundstoffe sowie nachwachsende Rohstoffe ist der Fahrzeugbau führend.

Die Studie kommt zum Ergebnis, dass nicht alle Trends der Fertigungstechnik tatsächlich in größerem Maße Einzug in die Industrie finden. Bei der Zahl der eingesetzten Materialien ist jedoch durchaus eine Erhöhung spürbar.



## Canadian Aluminium Transformation Technology Roadmap

**Autoren:** Réseau Trans-Al Inc.; Aluminium Technology Centre of the National Research Council Canada

**Projekt:**

**Land/Region:** Kanada

**Umfang:** 124 Seiten

**Datum:** 2006

**Prozess:** Expertenbefragung mit 106 Teilnehmern, 5 Workshops mit 84 Teilnehmern

**Zeithorizont:** 0-3, 3-10, >10 Jahre

**Werkstoffklasse:** Metalle

Kanada ist hinter China und Russland der drittgrößte Produzent von Primäraluminium weltweit. Diese Roadmap liefert eine detaillierte Analyse der aktuellen Situation der kanadischen Aluminium-Industrie und Strategien für eine erfolgreiche Entwicklung in der Zukunft. Zu verschiedenen Produktions- und Anwendungsbereichen werden die Marktsituation, strategische Aspekte sowie Anforderungen und Chancen beschrieben. Der Entwicklungsstand der relevanten Technologien wird über einer Zeitachse mit den Abschnitten „Emerging“, „Leading Edge“, „State-of-the-Art“ und „Declining“ gezeigt. Im Hauptteil des Dokuments werden insgesamt 38 Themen als Chancen identifiziert, deren Entwicklungspotenzial graphisch aufbereitet auf je einer halben Seite dargestellt wird. Dabei wird eine Klassifizierung in vier Prioritätsstufen (Top, High, Medium, Low), in drei Zeitabschnitte (0-3, 3-10, 10 und mehr Jahre), sowie nach technischer Herausforderung (High, Moderate, Low) und ökonomischer Relevanz vorgenommen. Die Kernelemente und erhofften Vorteile bei Umsetzung des jeweiligen Themenkomplexes werden kurz dargestellt. Die Themen sind unterteilt in die Anwendungsbereiche Transport und Bau sowie in die Technologiebereiche Gießtechnik, Formtechnik, Fügetechnik, Oberflächenbearbeitung und Bearbeitungstechnologie. Im Anhang befinden sich auch Prognosen für die Marktentwicklung verschiedener Aluminiumprodukte bis 2015.

### *Transport*

Top-Priorität für die kommenden 3 Jahre haben hier das Anbieten von integrierten Al-basierten Lösungen an OEM-Anbieter und die Entwicklung von Konstruktionen aus mehreren verschiedenen Materialien, wofür vor allem konkurrenzfähige Füge-, Verbindungs- und Formungstechnologien entwickelt werden müssen. Hauptziele sind hier die Gewichts- und Kostenreduzierung, bessere mechanische Eigenschaften der Gesamtkonstruktion sowie bessere Isolationseigenschaften, Korrosionsbeständigkeit, Formbeständigkeit etc. Folgende Themen haben hohe Priorität im mittelfristigen Zeitrahmen: Entwicklung von Legierungen mit hoher Festigkeit

und Hitzebeständigkeit für Dieselmotoren; Entwicklung von gut formbaren, kosteneffizienten, stabilen Al-Blechen; Design von Leichtbau-Konstruktionen für Lkw, Busse usw.; Neue Methoden zur Herstellung größerer Gussteile mit dünneren Wänden; Signifikante Kostensenkung bei den verschiedenen Aluminium-Verarbeitungsprozessen; Verbesserung der Verschleißfestigkeit, Tribologie und Schmierung von Al-Oberflächen.

#### *Bauindustrie*

Technologische Themen mit hoher Priorität sind hier die Entwicklung von modularen Strukturen für die einfache Vor-Ort-Montage, die Fertigung von möglichst großen stranggepressten Teilen sowie die Entwicklung spezieller Design-Softwarepakete für den Aluminiumbau. Die technischen Herausforderungen für alle diese Aspekte werden als gering eingeschätzt. Wichtigstes Ziel ist die Entwicklung einer breiteren Anwendungsbasis von Aluminium in der Bauindustrie.

#### *Gießtechnik*

Top-Priorität im kurzfristigen Zeitrahmen haben die Entwicklung von Legierungen für die Herstellung von großen Teilen in Semi-Solid Gießverfahren (New Rheocasting) und die Entwicklung eines „Best Practice Guide“ für Al-Gießverfahren. Mit hoher Priorität sollen Möglichkeiten zur direkten Erzeugung von Produkten aus von Primärerzeugern flüssig gelieferten Legierungen untersucht werden. Auf gleicher Prioritätsstufe stehen auch die Verbesserung des Echtzeit-Monitoring von Produkten und Prozessen durch moderne Sensorik, die Erhöhung der Energieeffizienz in Gießereien und die Herstellung größerer Gussteile mit dünneren Wänden.

#### *Umformtechnik*

Wichtige technologische Fragestellungen liegen hier in der Entwicklung von zuverlässigen, kosteneffizienten Hydroforming-Verfahren besonders für Anwendungen im Automobilbereich, bei der Verbesserung von Prozess-Simulationsmethoden und in der Entwicklung neuer Umformverfahren, die sich am industriellen Bedarf orientieren. Als vielversprechende Techniken werden Warmumformen, Induktions- und Laserumformen, die Herstellung von Rohteilen mit variablen Eigenschaften und Hydroforming für die Blechumformung genannt. Wesentliche Fortschritte werden hier im Zeitrahmen von 3-10 Jahren erwartet.

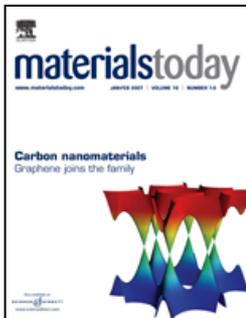
#### *Fügetechnik*

Als wichtigste innovative Technologie mit mittelfristigem Forschungs- und Entwicklungsbedarf wird hier das Rührreibschweißen (Friction Stir Welding, kurz: FSW) genannt. Ebenfalls auf hoher Prioritätsstufe wird die Entwicklung oder Adaption von Analyseverfahren zur Charakterisierung von Al-Oberflächen gesehen. Hier wird vor allem an optische Systeme mit Lasern und Kameras gedacht für den Einsatz in der Qualitäts-

Kontrolle von Schweißverbindungen und der Kontrolle von Oberflächen für Klebeverbindungen und andere Fügeverfahren.

### *Oberflächenbearbeitung*

Folgende Themen haben hier hohe Priorität: Herstellung vorlackierter Bleche, die Umformprozesse überstehen (besonders interessant für den Automobilbereich); Entwicklung chromfreier Oberflächenbehandlungsverfahren; preisgünstige Herstellung von dekorativen Oberflächenstrukturen, Entwicklung von Lacken zur Verwendung auf Aluminium ohne Oberflächenbehandlung; Entwicklung eines Verfahrens zur Verhinderung der Haftung von Eis auf Al-Oberflächen (Wichtig für Anwendungen im Elektrizitätsbereich). Die technologischen Herausforderungen für die genannten Oberflächentechnologien werden als moderat bis hoch eingeschätzt.



### **Carbon Nanomaterials-Graphene joins the Family**

**Autoren:** Mikhail Katsnelson (MaterialsToday Vol 10 Jan-Feb 2007)

**Land/Region:** global

**Umfang:** 8 Seiten

**Datum:** Januar 2007

**Prozess:** Fachpublikation

**Zeithorizont:** > 2020

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien

Kohlenstoff tritt in verschiedenen Modifikationen auf. Graphit und Diamant sind die seit langem bekannten, natürlichen Modifikationen. In jüngerer Zeit sind mit Fullerenen und Kohlenstoff-Nanoröhren zwei weitere Modifikationen in Erscheinung getreten. Den jüngsten Vertreter in dieser Hinsicht stellt Graphen dar. Hierbei handelt es sich um monolagiges Graphit, eine zweidimensional ausgedehnte Struktur mit der Dicke einer Atomlage. Graphen ist entlang seiner flächigen Ausdehnungsrichtung außerordentlich fest. Die Steifigkeit entspricht mit etwa 1020 GPa dem Wert entlang den Basalebenen von Graphit und erreicht fast die Werte von Diamant.

Für Graphen ist eine kommerzielle Verwendung zuerst im Bereich der Verbundwerkstoffe zu erwarten. Durch seine guten thermischen und elektrischen Leitungseigenschaften ist es vor allem für leitfähige Composite oder Komponenten zur Wärme- und Abwärmedissipation interessant. Weitere Applikationsmöglichkeiten werden als Elektrodenmaterial gesehen.

Mit der Entdeckung des Graphens bzw. seiner Darstellung vor wenigen Jahren stieß dieses neue Material sofort auf großes wissenschaftliches Interesse. Insbesondere seit Anfang 2006 befassen sich zahlreiche Publi-

kationen mit diesem Gebiet. So unterliegen etwa die Elektronen innerhalb der Graphenschicht einem „Quantenconfinement“ und weisen eine Reihe neuartiger elektronischer Eigenschaften auf. Sie verhalten sich wie masselose relativistische Teilchen. Graphen stellt in dieser Hinsicht das erste echte zweidimensionale Material dar, das einen Brückenschlag zwischen Festkörperphysik und Quantenelektrodynamik ermöglicht. Graphen ist neben seiner Verwendbarkeit in Verbundwerkstoffen in der Wissenschaft vor allem hinsichtlich seiner zukünftigen Einsatzmöglichkeiten innerhalb einer kohlenstoffbasierten Elektronik in der „Post-Silizium-Ära“ interessant, die je nach Informationsquelle in etwa 15 bis 30 Jahren beginnen könnte.

Der Review-Artikel widmet sich ausführlich der elektronischen Struktur des Graphens und den damit verbundenen vor allem quantenphysikalischen Effekten. Anwendungsmöglichkeiten, die jedoch teilweise noch weit in die Zukunft reichen, werden im Mikro- bzw. Nanoelektronik-Bereich gesehen; dort hauptsächlich als nanoskalige Feldeffekttransistoren, die eine hohe Integrationsdichte erlauben. Diskutiert werden auch Applikationen in der Gassensorik und im Umfeld neuer Ansätze für supraleitende Materialien.

### **Ceramere - Innovative High Performance Polymers and Additives**

**Autoren:** Ceramer GmbH

**Land/Region:** global

**Umfang:** 36 Seiten

**Datum:** Juni 2003

**Prozess:** Innovations- und Produktbroschüre

**Zeithorizont:**

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere, Keramiken

Die Ceramere der Ceramer GmbH Plus sind Hochleistungspolymere aus Polyphenylensulfon (PPSO<sub>2</sub>). Sie werden im Heißpressverfahren oder in Sinterverfahren hergestellt. Als Basismaterial bildet Ceramer ein feines Pulver. Seine Dichte beträgt etwa 1,5 G/cm<sup>3</sup>.

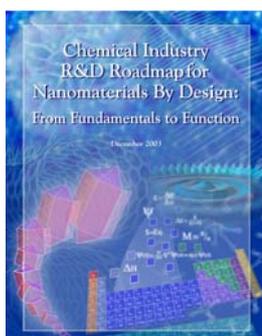
Als eigenständige Werkstoffe können aus Cerameren Formteile oder Beschichtungen entstehen – vor allem kommen sie aber als Additive für technische Kunststoffe (z. B. Fluoropolymere oder thermoplastische Hochleistungspolymere) zum Einsatz. Dort ermöglichen Ceramere die gezielte Veränderung wichtiger Eigenschaften. Sie wirken sich beispielsweise vorteilhaft auf Abriebfestigkeit und Verschleiß aus und erhöhen die Druckfestigkeit der Werkstoffe. Ceramerprodukte kommen in Bereichen zur Anwendung wo besondere thermische Stabilität, Feuerfes-



tigkeit und generelle Chemikalienresistenz in Verbindung mit großer Materialhärte und Steifigkeit erforderlich sind.

Als organisches Füllmaterial in Polytetrafluorethylen (PTFE; Teflon) verringern Ceramere den Materialabrieb und -verschleiß sowie die Wärmeausdehnung, ohne die chemische Resistenz und Temperaturstabilität zu reduzieren. Cerameren kommt deshalb Bedeutung als Verstärkungsmaterial gerade im PTFE-Bereich zu. Hier übertreffen sie hinsichtlich ihrer Eigenschaften andere Füllmaterialien. Die geringe Dichte erlaubt den Zusatz einer relativ hohen Additivkonzentration von 5-15 Gewichtsprozent.

Weitere Anwendungen ergeben sich als Verstärkungsadditiv in thermoplastischen Fluoropolymeren und thermoplastischen Hochleistungskunststoffen. Hier wird neben der Abriebsfestigkeit auch die Druckfestigkeit des Verbundmaterials erhöht. Ebenso lässt sich die Metallisierung thermoplastischer Kunststoffe verbessern.



### **Chemical Industry R&D Roadmap for Nanomaterials By Design: From Fundamentals to Function**

**Autoren:** Chemical Industry Vision2020 Technology Partnership; Energetics, Inc.

**Projekt:**

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 92 Seiten

**Datum:** Dezember 2003

**Prozess:** Workshop-Reihe mit über 100 Teilnehmern aus der chemischen Industrie, Universitäten und öffentlichen Forschungseinrichtungen

**Zeithorizont:** 5, 10, 15, 20 Jahre

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien

Das Hauptziel dieser Roadmap ist der Übergang vom aktuellen wissenschaftsbasierten, entdeckungsgetriebenen zu einem anwendungsorientierten Ansatz in der Entwicklung von Nanomaterialien („Nanomaterials By Design“). Dazu müssen das fundamentale Verständnis, vor allem der Zusammenhänge zwischen Struktur und Funktionalität, aber auch die Methoden zur Synthese und Charakterisierung neuer Materialien so weit vorangetrieben werden, dass man in die Lage versetzt wird, ausgehend von den Anforderungen einer bestimmten Anwendung, ein Material mit den gewünschten Eigenschaften kosteneffektiv aus bestehenden Komponenten und mit bekannten Prozessen zu „designen“. Die Vision für das Jahr 2020 sieht eine „Bibliothek“ von Nanomaterialien und Fertigungstechnologien vor, die die Herstellung von optimierten Na-

nomaterialien für vielfältige Anwendungen für globale Massenmärkte ermöglicht.

Für das Erreichen dieses Paradigmenwechsels werden in den folgenden Bereichen Forschungsprioritäten identifiziert und bewertet: Grundlagen und Synthese; Herstellung und Prozesse; Analysemethoden und -technologien; Modellierung und Simulation; Umwelt, Sicherheit und Gesundheit; Standards und Informatik; Wissens- und Technologietransfer, Bildung und Training. Für jeden dieser Bereiche werden 2 bis 7 Prioritäten als Top, High oder Medium eingestuft. Für jede dieser Prioritäten wird eine Zeitdauer auf einer Zeitskala bis 20 Jahre angegeben, in der intensive Forschungsarbeiten in diesem Gebiet durchgeführt werden müssen, um einen nennenswerten Einfluss auf die zukünftige Entwicklung zu haben. Weiterhin wird eine (sehr qualitative) Aussage zu den erforderlichen Investitionen für die jeweilige Priorität gemacht.

#### *Grundlagen und Synthese:*

Als wichtigste Top-Priorität mit umfangreichen Investitionen und Forschungsaktivitäten im gesamten betrachteten Zeitraum (20 Jahre) wird die Gewinnung von Grundlagenwissen zu den Zusammenhängen zwischen Struktur, Eigenschaft und Prozess auf der Nanometerskala genannt. Experimentell bestätigte Modelle und Theorien zur Physik und Chemie auf der Nanometerskala, neue Konzepte zur Herstellung von „Bausteinen“ für Nanomaterialien, sowie neue Design-, Screening- und Prüfverfahren sind ebenfalls Top-Prioritäten.

#### *Herstellung und Prozesse:*

Kurzfristige (5 Jahre) Top-Prioritäten sind die Entwicklung von massentauglichen, kosteneffizienten Produktionsverfahren und Prozessen zur Weiterverarbeitung von Nanomaterialien ohne Beeinträchtigung von deren besonderen Eigenschaften. Langfristig werden neuartige Technologien für eine hierarchische „Montage“ von Nanomaterialien angestrebt.

#### *Analysemethoden und -technologien:*

Hier liegt die Top-Priorität bei der Entwicklung von Echtzeit-Analysetechnologien, zunächst 1- und 2-dimensional, langfristig auch 3-dimensional, nicht nur für den Einsatz in der Forschung und Entwicklung sondern auch in der Herstellung von Nanomaterialien.

#### *Modellierung und Simulation:*

Theoretische Modelle, basierend auf physikalischen und chemischen Erkenntnissen, die nicht nur Materialeigenschaften sondern auch die Entstehung von nanoskaligen Strukturen vorhersagen, werden als Top-Priorität genannt. Methoden zur Überbrückung der Größenordnungen zwischen Modellen der atomaren bzw. molekularen Struktur und makroskopischen Materialeigenschaften sind ebenfalls Top-Priorität.

*Umwelt, Sicherheit und Gesundheit:*

Eine intensive und kontinuierliche Untersuchung möglicher Gesundheits- und Umweltrisiken, ausgehend von Nanomaterialien, wird als Top-Priorität genannt. Gewonnene Erkenntnisse sollen auch in neuen Sicherheitsrichtlinien umgesetzt werden.

In den übrigen der oben genannten Bereiche werden weitere Prioritäten zur Implementierung, zum Technologietransfer und zur Ausbildung in Bezug auf neue Nanomaterialien beschrieben. Darüber hinaus werden in einem abschließenden Kapitel Empfehlungen zur Umsetzungsstrategie, zu Förderprogrammen, begleitenden Maßnahmen und Ressourcennutzung gegeben.

Im Anhang befindet sich eine Zusammenstellung der wichtigsten Eigenschaften zukünftiger Materialien, die auf Nanomaterialien oder Nanotechnologie basieren. Viel versprechende Anwendungsbereiche und potenzielle Zielmärkte sind ebenfalls dargestellt. So werden in den Bereichen Umwelt, Energie, Nahrungsmittel und Landwirtschaft, Medizin und Gesundheit, Chemie, Produktion, Bau, Transport, Elektronik und IT, Kosmetik, Textilien und Unterhaltungselektronik sowie branchenübergreifend insgesamt 106 relevante Produkte und Prozesse aufgeführt.

**Construction 2020: A Vision for Australia's Property and Construction Industry**

**Autor:** Cooperative Research Centre for Construction Innovation

**Land/Region:** Australien

**Umfang:** 56 Seiten

**Datum:** 2006

**Prozess:** Roadmappingprozess

**Zeithorizont:** 2020

**Werkstoffklasse:** Neue Materialien

Ziel der Analyse ist die Identifizierung von Trends und zukünftigen Schwerpunkten der Baubranche, um die australische Bauindustrie bis 2020 führend in den Bereichen Forschung & Innovation zu machen.

Hierzu wurden Workshops und Befragungen von Unternehmen durchgeführt, da eine zunächst rein objektive Bestandsaufnahme die Notwendigkeit dieser Methodik veranschaulichte.

Zunächst werden die Probleme und Herausforderungen, die sich für die Bauindustrie ergeben, thematisiert; hierzu gehören beispielsweise die fortschreitende Urbanisierung und Globalisierung.

Anschließend werden mögliche Antworten auf diese Probleme genannt, unter anderem neue Werkstoffe und Fertigungstechnologien.

---

In den folgenden Abschnitten werden insgesamt 9 mögliche Innovationen vorgestellt und deren Realisation anhand kurzer Roadmaps beschrieben.

### **Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie - Innovationspotenziale für Unternehmen**

**Autor:** Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

**Projekt:** Hessen Nanotech /Hessen Umwelttech

**Land/Region:** Deutschland/Hessen

**Umfang:** 56 Seiten

**Werkstoffklasse:** Keramiken, Nanomaterialien, Kunststoffe

Die Studie richtet sich an hessische Unternehmen der Umwelttechnologie und soll diesen die Potenziale und Anwendungsgebiete der Nanotechnologie näher bringen. Sie beginnt mit einer allgemeinen Einführung in die Nanotechnologie, die Grundlagen, Anwendungen und wirtschaftliches Potenzial der Technologie erläutert.

Anschließend werden mögliche Anwendungen der Nanotechnologie in der Umwelttechnologie diskutiert, zu denen zum Beispiel Recycling, Wasseraufbereitung und Mess- und Regelungstechnik gehören.

Es folgen konkrete Anwendungsbeispiele der Nanotechnologie in der Umwelttechnologie sowie ein Leitfaden für Unternehmen der Umwelttechnologie, der Anwendungsgebiete enthält, in denen sich der Einsatz von Nanotechnologie anbietet. Hierzu gehören z. B. Filtermembranen aus verformbaren Keramiken mit Nanopartikeln, Kohlenstoff-Nanofasermembranen oder CNTs für Filtration, mikroporöser Dünnschicht auf der Basis anorganischer kristalliner Materialien, wie Zeolithe oder poröses Silizium, gestützte Polymermembranen, deren Poren mit einer funktionalen polymeren oder oligomeren Flüssigkeit ausgefüllt sind, Membranen aus organischem Kunststoff als Nanogewebe (Porendurchmesser und Faser der Membran im nm-Bereich) oder katalytische Membranen zur Trennung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff.



## **EuMaT Materials for Life Cycle - Roadmap of the European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies**

**Autoren:** European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies

**Projekt:** EuMaT Technology Platform

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 147 Seiten

**Datum:** Juni 2006

**Prozess:**

**Zeithorizont:** 3-5, 4-10, >10 Jahre

**Werkstoffklasse:** alle

Das Hauptziel dieser Roadmap ist die optimale Integration von Vertretern der Industrie und anderer Akteure in die Entwicklung europäischer Forschungs- und Entwicklungsprioritäten im Bereich innovativer Materialien und der dazu gehörenden Technologien, d.h. multifunktionale Materialien, Materialien für extreme Bedingungen (inkl. Leichtbau) sowie Hybrid- und Verbundmaterialien. Diese neuen Materialien sollen primär unter den Gesichtspunkten der Gesamtkosten über den gesamten Lebenszyklus und ihrer Einflüsse auf die Umwelt betrachtet werden. Es werden folgende langfristige Zielsetzungen für das Jahr 2030 formuliert: Reduktion der Lebenszykluskosten von industriellen Anlagen und Infrastrukturen um 30% und des Energieverbrauchs um 50% (effizientere Materialien); Erhöhung der Produktivität von Anlagen um 25% durch die Reduzierung von Ausfallzeiten (verlässlichere Materialien); Schutz der Umwelt durch geschlossene Prozesse. In einer strategischen Agenda werden Forschungsprioritäten für den kurz- (3-5 Jahre), mittel- (4-10 Jahre) und langfristigen Zeitrahmen (>10 Jahre) identifiziert. Dabei werden auch Querschnittsthemen wie Lebenszyklusaspekte, Modellierung und Simulation, Prüf- und Charakterisierungsverfahren, Monitoring, Standardisierung von Herstellungsverfahren, Vorhersage von Werkstoffverhalten und -eigenschaften sowie Risiken neuer Materialien berücksichtigt. In einer Umsetzungsstrategie werden Vorschläge für Fördermaßnahmen im Rahmen des 7. europäischen Rahmenförderprogramms und nationaler Programme gemacht. Es werden die folgenden fünf Forschungsprioritäten („Topics“) für zukünftige Förderprogramme definiert und beschrieben:

### *Materialien für Energieversorgung- und Umwelttechnologien*

Zur Reduktion der Treibhausgasemissionen sollen neue Werkstoffe für die Erzeugung von Strom, Wärme und „sauberen“ Kraftstoffen entwickelt werden. So sollen z. B. im Jahr 2020 Werkstoffe für Kohle- und Gaskraftwerke zur Verfügung stehen, die nahezu CO<sub>2</sub>-emissionsfrei sind

oder für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung geeignet sind. Im Bereich der erneuerbaren Energien werden Materialien für Solarzellen und Brennstoffzellen als wichtigste Forschungsfelder genannt. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung von Materialien für die Speicherung und den Transport von Energie, vor allem CO<sub>2</sub>-Transport und -Speicherung, Wasserstoffspeicherung und Batterie- bzw. Akkumulatortechnologien. Werkstoffe mit verbesserten Isolationseigenschaften zur Energieeinsparung und Leichtbaumaterialien zur Kraftstoffeinsparung im Automobil- und Luftfahrtbereich werden hier ebenfalls angesprochen. Wesentliche Entwicklungen in allen diesen Bereichen werden im Zeitraum 2010 bis 2015 erwartet.

*Entwicklung neuer Materialien maßgeschneidert für Transportsysteme der nächsten Generation*

Dieser Themenschwerpunkt bezieht sich ausschließlich auf den Fahrzeugbau. Als oberste Priorität wird die Gewichtsreduzierung durch den Einsatz von Leichtbauwerkstoffen in Karosserie, Chassis und Verkabelung, Fahrzeuginnenraum und Antriebsstrang genannt. Dabei sollen verstärkt nanostrukturierte Materialien entwickelt und produziert werden. Als wichtige Werkstoffe und Technologien werden genannt Polymerbasierte Nanokomposite, Beschichtungen, Metallbasierte Nanostrukturen, Funktionstextilien auf der Basis von Nanofasern, Bio-Komposite, nanokeramische Komposite, kohlefaserverstärkte Polymere, Metall-Matrix- und Metall-Polymer-Keramik-Verbundwerkstoffe, neue Füge-technologien, neue Montage- und Recyclingverfahren, multifunktionale hochintegrierte Lösungen für neue Fahrzeug-Designs und neue Katalysatormaterialien. Wesentliche Entwicklung werden im Zeitraum 2010 bis 2013 gesehen.

*Komponenten und Mikrosysteme auf der Basis von Nanomaterialien*

Hier soll schwerpunktmäßig die Entwicklung und Produktion von Nanopartikeln, Nanoröhren, Nanodrähten und Nanoschichten vorangetrieben werden, um daraus nach dem „Baukasten“-Prinzip sogenannte „Nano-Assembled Materials“ (NAMs) herzustellen. Zunächst müssen dazu Techniken für die Herstellung von Nanopartikeln mit monodisperser Morphologie entwickelt werden. Ziel ist es, durch die Nanostrukturierung Materialien mit verbesserten Eigenschaften gegenüber herkömmlichen Werkstoffen für eine Vielzahl von Anwendungen zu erhalten. Dazu sind F&E-Aktivitäten in allen Bereichen der nanotechnologischen Herstellung, Charakterisierung, Verarbeitung und auch Modellierung erforderlich. Erste Umsetzungen werden 201 bis 2013 erwartet.

*Direkte und inverse Werkstoffentwicklung durch integrierte multiskalige Entwicklungsverbünde*

Ziel ist es hier, systematisch neue Kollaborationsstrukturen zu schaffen, die einen integrierten Ansatz bei der Entwicklung von Nanomaterialien ermöglichen, der alle Aspekte von der nano- und mikroskopischen Struktur über ihre Funktionalisierung, (Massen-)Produktionsmethoden, Verar-

beitungsverfahren und Integration bis hin zur Anwendung und schließlich Recycling berücksichtigt. Dazu sollen in den kommenden 3 bis 10 Jahren neue wissenschaftsbasierte, industrielle Entwicklungsstrukturen entstehen, die den direkten „Bottom-up“ F&E-Ansatz mit einer inversen „Top-down“ Strategie, die Anforderungen aus den jeweiligen Anwendungen berücksichtigt.

*Neue multifunktionale Materialien für multisektorale Anwendungen unter hoch anspruchsvollen Betriebsbedingungen*

Es wird F&E-Bedarf für drei Klassen von komplexen, wissenschaftsbasierten Funktionsmaterialien für verschiedene Anwendungsschwerpunkte gesehen. Intermetallische Legierungen (Intermetallics), wie z.B. Aluminide, sind vor allem für Hochtemperaturanwendungen aber auch für biomedizinische Anwendungen und Sensoren interessant. Bei Metall-Keramik-Verbundwerkstoffen sollen verschiedene Eigenschaften für einen breiten Einsatz in Bereichen wie Energie, Umwelt, Transport, Telekommunikation und Gesundheit optimiert werden. Functionally Graded Materials (FGM) und Funktions-Multilayers sollen neben den bisherigen Anwendungsbereichen, wie Sensoren und Aktoren, auch für den Einsatz in biologischen Umgebungen in biomedizinischen Anwendungen weiterentwickelt werden.



### **European Steel Technology Platform - Strategic Research Agenda**

**Autoren:** European Steel Technology Platform

**Projekt:**

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 92 Seiten

**Datum:** April 2005

**Prozess:** Fünf Arbeitsgruppen mit ca. 80 Personen

**Zeithorizont:** <2010, 2010-2020, >2020

**Werkstoffklasse:** Stahl

Ziel dieser Strategie-Agenda ist die nachhaltige Sicherung und Stärkung der globalen Führungsposition der europäischen Stahlindustrie, vor allem vor dem Hintergrund der starken Entwicklung der Konkurrenz aus anderen Teilen der Welt, insbesondere aus Asien. Die Stahlindustrie gilt als eine Schlüsselbranche der europäischen Wirtschaft. Um ihre Konkurrenzfähigkeit auf dem globalisierten Weltmarkt zu erhalten, muss die europäische Stahlindustrie die Herausforderungen der kombinierten Zielsetzungen aus Umweltverträglichkeit und Profitsteigerung meistern. Die Strategie wird auf den vier Prinzipien eines nachhaltigen Wachstums entwickelt: Profit/Innovation, Planet/Ressourcen, Partner/Produkte, Personen. Daraus gehen drei industrielle F&E-Programme mit starkem ge-

sellschaftlichem Einfluss hervor: Sichere, saubere, kosteneffektive und wenig kapitalaufwendige Technologien; Rationaler Umgang mit Energie, Ressourcen und Verwertung von Reststoffen; Attraktive Lösungen und Produkte aus Stahl für die Endverbraucher. In sehr einfachen Tabellendiagrammen wird dargestellt, zu welchen Themen bedeutende Entwicklungen in einem kurzfristigen (<2010), mittelfristigen (2010-2020) und langfristigen (>2020) Zeitraum erwartet werden.

### *Innovative Technologien*

Um die Konkurrenzfähigkeit der europäischen Stahlindustrie zu sichern, sind Innovationen im Bereich der Produktionsprozesse und Verarbeitungstechnologien erforderlich. Hauptziel ist es, eine höhere Integration und Flexibilität der Prozesse zu erreichen. So soll die Zahl von aufeinanderfolgenden Erhitzungs- und Abkühlungsschritten, die bei Formgebungs- und anderen thermomechanischen Verfahren durchgeführt werden müssen, reduziert werden. Dadurch könnten der Materialverlust und die Zahl von Defekten aufgrund von Oxidation während der Herstellung verringert werden. Dünnbrammen-Stranggießen und Dünnbandgießen sind hier viel versprechende Ansätze. Besonders bei dem letztgenannten Verfahren besteht aber noch ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, bevor es für die Massenproduktion von hochwertigen Stahlprodukten eingesetzt werden kann. Weitere F&E-Schwerpunkte im Bereich neuer Produktionsprozesse liegen bei mechanischen Reinigungsverfahren, speziellen Kühlverfahren, neuen „Versiegelungs“-Technologien und Technologien zur Verwertung der thermischen Energie heißer (Zwischen-)Produkte. Ein anderer Themenbereich, in dem Forschungsbedarf besteht, ist die Flexibilisierung der Produktionslinien, um ein breiteres Produktspektrum abzudecken und schnell auf veränderte Anforderungen und Kundenwünsche reagieren zu können. Hier spielt die Entwicklung hin zu kompakten, multifunktionalen Produktionslinien durch die Einführung neuer Verfahren eine wichtige Rolle. Große Vorteile werden auch durch eine umfassendere Kontrolle über die Produktionsprozesse erwartet. Unter dem Schlagwort „Intelligente Produktion“ soll dies vor allem durch einen hohen Grad an Automatisierung der Produktionslinien, Online-Mess- und Kontrollsysteme und den intensiven Einsatz von Computermodellierung in der Entwicklungs- und Herstellungsphase erreicht werden.

Für alle drei Hauptthemen im Technologiebereich, nämlich Neuartige Prozesse für die „oxidfreie“ und energieeffiziente Produktion, Flexible und multifunktionale Produktionslinien und Intelligente Produktion, werden kurz-, mittel- und langfristig entscheidende Entwicklungen erwartet.

### *Energie, Ressourcen*

Um eine nachhaltige Entwicklung der europäischen Stahlindustrie zu erreichen, werden folgende F&E-Themenbereiche identifiziert: Die Her-

ausforderung durch Treibhausgase; Energieeffizienz und Ressourceneinsparung; Vorteile von Stahl: der gesellschaftliche Einfluss durch Materialien. Im Bereich der Treibhausgasreduzierung werden Potenziale durch die Nutzung alternativer Kohlenstoffquellen (z. B. recycelte Kunststoffe), die effiziente Nutzung der intern erzeugten Energie, die direkte Einspeisung von Energie in Lichtbogenöfen sowie die drastische Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes durch die Entwicklung eines völlig neuen Stahlherstellungsprozesses im Rahmen des ULCOS-Projekts (Ultra Low CO<sub>2</sub> Steelmaking). In diesem EU-geförderten Projekt sollen in einer ersten Phase (bis 2009) ein bis zwei neue Prozesse im Labormaßstab entwickelt werden, die eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emission von bis zu 50% ermöglichen. In der zweiten Phase (bis 2015) ist die Umsetzung zweier Alternativprozesse in einer industriellen Pilotanlage geplant und der daraus hervorgehende ULCOS-Prozess soll dann in der dritten Phase (nach 2015) in eine erste industrielle Produktionslinie implementiert werden. In diesem Zusammenhang wird auch die Einbettung neuer Stahlproduktionsstätten in neue CO<sub>2</sub>-arme Kraftwerkkonzepte gesehen. Weiterhin wird eine möglichst vollständige Wiederverwertung aller Nebenprodukte, Reststoffe sowie des in der Produktion genutzten Wassers angestrebt. Insgesamt werden bei der Energie- und Ressourcennutzung kurz-, mittel- und langfristig wichtige Entwicklungen erwartet.

#### *Attraktive Produkte*

Der Automobilsektor und die Bauindustrie werden weiterhin als die wichtigsten Anwendungsbereiche der Stahlindustrie gesehen und in kurzen Unterkapiteln einzeln dargestellt, jedoch sollen auch der Schiffbau, die Verpackungsindustrie und der Energiesektor von der Entwicklung neuer Stähle profitieren. Im Automobilbereich werden „superbiegsame“ Stahlsorten völlig neue Designs erlauben. Neue Oberflächentechnologien zur Herstellung maßgeschneiderter Stahloberflächen spielen hier ebenfalls eine wichtige Rolle. Kurz-, mittel- und langfristig werden durchschlagend neue Entwicklungen im Bereich hochwertiger HSS-Materialien erwartet. Bei der Entwicklung von Stahlherstellungsprozessen für kritische Anwendungen (Beständigkeit bei Feuer, Erdbeben, Korrosion, Verbundstähle) sieht man mittel- bis langfristig wichtige Fortschritte. Ebenso bei der Entwicklung von leichten Hybridmaterialien auf der Basis von Stahl und dem Einsatz von Oberflächenbearbeitungsverfahren, wie trockene oder mehrlagige Beschichtungen.

## Herstellung und Charakterisierung von Aerogel-Faser-Verbundwerkstoffen

**Autoren:** Ilyas Alman (DLR, Institut für Raumsimulation)

**Land/Region:** Deutschland

**Umfang:** 77 Seiten

**Datum:** Juni 2006

**Prozess:** Diplomarbeit

**Zeithorizont:**

**Werkstoffklasse:** Aerogele, Verbundwerkstoffe

Die steigenden Anforderungen an die Qualität und Leistungsfähigkeit von Maschinen und Produkten erfordern die Entwicklung immer leistungsfähigerer Werkstoffe mit speziellen, anwendungsorientierten Eigenschaften. Bei Faserverbundwerkstoffen (FVW) werden Werkstoffeigenschaften, wie z.B. hohe Festigkeit und Steifigkeit, bei sehr geringem Gewicht durch die gezielte Auswahl von Faser- und Matrixmaterialien sowie deren Kombination erreicht.

Aerogele sind hochporöse nanostrukturierte Werkstoffe mit extrem kleinen Dichten. Die Porengrößen liegen bei Aerogelen in der Größenordnung von 3 – 30 nm. Sie können zu 99% aus Luftkanälen bestehen, woraus eine extrem große innere Oberfläche resultiert, die bei einem Materialstück von 1 g mehr als 1000 m<sup>2</sup> betragen kann.

Nachdem auch die Herstellung organischer Aerogele gelungen ist, die im Vergleich zu keramischen weniger spröde sind und verbesserte Wärmedämmeigenschaften besitzen, ist ihr Einsatz in industriellen Anwendungen näher gerückt. Organische Aerogele können zudem durch Erhitzung unter Luftabschluss (Pyrolyse) in reine Kohlenstoff-Aerogele überführt werden, die elektrisch leitfähig sind.

Praktisch alle Anwendungsmöglichkeiten für Aerogele beruhen auf ihrer hochporösen Nanostruktur. Diese ist verantwortlich für Eigenschaften, wie die geringe akustische Impedanz oder die geringe Wärmeleitfähigkeit, sowie für den niedrigen Brechungsindex. Aerogele können im Normalfall mehr als das 2000-fache ihres Eigengewichtes an Auflast tragen. In einigen Fällen ist auch die hohe optische Transparenz einiger Aerogele, wie etwa der Silica-Aerogele, von Nutzen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung und Optimierung von Resorcin-Formaldehyd-Aerogelen (RF-Aerogel) als Matrixwerkstoff im Hinblick auf ihren Einsatz in Verbundwerkstoffen. Dazu wurde Laminat aus Naturfasern (Hanf-, Jute- und Baumwoll-Garn) sowie synthetischen Fasern (Kohle- und Aramidfasern) hergestellt und charakterisiert. An den Laminaten wurden Zug- und Biegeversuche durchgeführt, um die mechanischen Eigenschaften (Zugfestigkeit, E-Modul, Biegebruchspan-



nung und Schubmodul) des Laminats zu bestimmen. Mit Hilfe Raster-Elektronenmikroskopischer und lichtmikroskopischer Aufnahmen des Verbundgefüges wurden die Faserdurchtränkung sowie die Faser-Matrix-Haftung überprüft, von der die Qualität der Faserverbundwerkstoffe abhängt.

Der neue Aerogel-Matrixwerkstoff hat eine Dichte von  $0,4 \text{ g/cm}^2$  und ist damit nur etwa 300-fach schwerer als Luft. Der neue Matrixwerkstoff ist damit erheblich leichter als konventionelle Matrixwerkstoffe wie Epoxyd-, Vinylester- und Polyesterharze, deren Dichten zwischen  $1,17 \text{ g/cm}^2$  und  $1,25 \text{ g/cm}^2$  liegen.

*Naturfaserverbundwerkstoffe mit RF-Aerogelen:*

RF-Aerogel-Naturfaserverbundwerkstoffe haben ein großes Potenzial zu industriellen Anwendungen. Durch ihr geringes Eigengewicht lassen sich Faserverbundbauteile mit niedrigen Dichten in der Größenordnung von  $0,6\text{-}0,9 \text{ g/cm}^3$  herstellen. Die niedrige Wärmeleitfähigkeit ermöglicht die Verwendung als Isoliermaterial mit hoher Feuerbeständigkeit. Das Material ist durch Änderung der Fadendichte, des Flächengewichts und der Fadenanordnung der Gewebe hinsichtlich Steifigkeit und Festigkeit leicht einstellbar.

*Aramid und CFK-Faserverbund mit RF-Aerogel:*

Aramid- und Kohlefasern sind in Kombination mit RF-Aerogel bis zu 50% leichter als die konventionellen Verbundwerkstoffe auf der Basis von Epoxyd- oder Phenolharzen. Allerdings weisen epoxydharz- und phenolharzgebundene Werkstoffe gegenüber dem RF-Aerogelverbund bessere Ergebnisse hinsichtlich Festigkeiten und Faser-Matrix-Haftung auf.

RF-Aerogele zeichnen sich durch eine hohe Temperaturbeständigkeit von  $350^\circ\text{C}$  aus. Epoxydharz erreicht dagegen nur eine Temperaturbeständigkeit von maximal  $250^\circ\text{C}$  und zersetzt sich oberhalb von  $300^\circ\text{C}$ . Daneben lässt sich das Aerogel unter Pyrolyse in Kohlenstoff umwandeln. Aerogele können als Matrixwerkstoff in Gebieten, wo herkömmliche Harze versagen, Verwendung finden.

Die Arbeit analysiert konventionelle Matrixwerkstoffe im Vergleich zu Aerogel-Werkstoffen.

Epoxydharze (EP-Harze) zeichnen sich durch eine hohe Haftfestigkeit an den Verstärkungsfasern bzw. Einlagen und einen geringen Härtungsschwund aus. Epoxyde weisen im Bereich der Laugen meist eine bessere Beständigkeit auf als andere Harze, wie zum Beispiel Polyesterharze. Sie sind, je nach Typ, auch gegen eine Reihe von Säuren und Lösungsmitteln beständig, unter anderem gegen Petroleum, Diesel- und Heizöl.

Polyesterharze(UP-Harze) zeichnen sich, verglichen mit Epoxydharzen, durch ihre Kostengünstigkeit aus. Sie besitzen eine sehr gute UV- und Chemikalienbeständigkeit und haben eine sehr geringe Wasseraufnahme,

die im Bereich des Schiffbaus sehr von Vorteil ist. Allerdings besitzen sie nur eine geringe Festigkeit und haben einen großen Härtungsschwund mit niedriger Glasübergangstemperatur.

Vinylesterharze stehen chemisch gesehen zwischen UP- und EP-Harzen. Sie bieten eine gute Haftung auf Glasfasern und sind darüber hinaus auch sehr duktil. Sie eignen sich somit zum Nachverformen von Bauteilen. Vinylesterharze werden wegen ihrer sehr guten Beständigkeit gegenüber vielen Chemikalien in jüngster Zeit verstärkt im Bootbau verwendet. Sie weisen sehr gute mechanische Eigenschaften, so insbesondere die hohe Bruchdehnung und gute thermische Eigenschaften, auf. Sie finden u. a. Verwendung in Carbon- und Aramidfaserlaminaten.

Neben den Matrixwerkstoffen richtet die Arbeit den Blick auf Fasermaterialien.

Glasfasern sind die gebräuchlichsten Verstärkungsfasern für Faserverbundwerkstoffe. Sie sind preisgünstig (2-6 €/kg) und besitzen ausgezeichnete mechanische (Biegebruchspannung < 810 MPa), thermische (temperaturbeständig bis 400 °C), dielektrische und chemische Eigenschaften. Die Festigkeiten (ca. 1625 MPa) sind sehr groß und entsprechen denen von Metallen, wobei das spezifische Gewicht (ca. 2.5-2.6 g/cm<sup>3</sup>) niedriger ist. Die Steifigkeit (E-Modul = 73-86 GPa) von Glasfaser ist gegenüber vielen Metallen relativ niedrig, so dass bei einer steifigkeitsbezogenen Auslegung von Bauteilen durch die benötigte größere Wandstärke der Gewichtsvorteil aufgehoben wird.

Kohlenstofffasern weisen eine hohe Festigkeit (3000-5000 MPa) und bedeutend höhere Steifigkeit (E-Modul=120-650 GPa) auf als Glasfasern. Das spezifische Gewicht von Kohlefaser (1.6-1.8 g/cm<sup>3</sup>) ist etwas niedriger. Die Dauerfestigkeit bei dynamischer Belastung ist gut, die Hitzebeständigkeit von Kohlefasern selbst ist sehr gut und liegt bei 1000°C. Die Wärmeausdehnungen von Laminaten sind wegen des negativen Ausdehnungskoeffizienten der Kohlefasern sehr gering. Wegen der höheren Schlagempfindlichkeit von Kohlefaser sollten sie bei erhöhter Schlagbeanspruchung nicht eingesetzt werden. Kohlefasern zeigen eine gute Strahlendurchlässigkeit (z.B. Röntgenstrahlen) und sind elektrisch leitend.

Aramidfasern sind sinnvoll, wenn Gewichtsersparnis (Dichte ca. 1.4-1.45 g/cm<sup>3</sup>) an erster Stelle steht. Weiterhin werden abrieb- und schlagbeanspruchte Teile (z.B. Schutz der Vorderkanten von Flugzeugleitwerken gegen Hagelschlag) aus aramidfaserverstärkten Kunststoffen gefertigt. Die Festigkeit (2800-3000 MPa) und Steifigkeit (E-Modul = 70000-120000 MPa) der Aramidfasern sind etwas besser als bei Glasfasern. Weitere Eigenschaften sind das gute Dämpfungsvermögen, die Nicht-Entflammbarkeit und die hervorragende chemische Beständigkeit. Die Wärmebeständigkeit von Aramidfaserkunststoff ist mit 120 °C, verglichen mit Glas und Kohlefaserkunststoff, wesentlich geringer. Die Bear-

beutung von Laminaten ist wegen der hohen Zähigkeit der Faser sehr schwierig.

Im Bereich der Naturfasern werden zumeist Baumwoll-, Hanf- und Jutefasern eingesetzt. Die Reißfestigkeit von Baumwolle liegt bei 450MPa. Sie ist gut verspinnbar und kann mit allen Fasern gemischt werden. Baumwolle lässt sich sehr gut bleichen und färben. Daneben kann Baumwolle bis zu 65% ihres Gewichtes an Wasser aufnehmen, weshalb sie überwiegend im Textilbereich eingesetzt wird. Hanffasern haben eine sehr hohe Festigkeit (1110 MPa) und sind dazu sehr leicht (Dichte: 1,47g/cm<sup>3</sup>). Deshalb werden daraus hauptsächlich Seile und Schnüre gefertigt. Weiterhin werden Hanffasern als Dämmstoff eingesetzt.

### **Industrial or White Biotechnology - A driver of sustainable growth in Europe**

**Autor:** European Technology Platform for Sustainable Chemistry

**Land/Region:** EU/weltweit

**Umfang:** 26 Seiten

**Datum:** 2005

**Zeithorizont:** 2025

**Werkstoffklasse:** Werkstoffe allgemein

Die Studie befasst sich mit der industriellen Biotechnologie, die auch als weiße Biotechnologie bezeichnet wird. Sie dient der Ausarbeitung von Auswirkungen, die von der industriellen Biotechnologie ausgehen und listet Anwendungsmöglichkeiten der industriellen Biotechnologie in unterschiedlichen Wirtschaftszweigen auf.

Weiterhin werden die Forschungsstrategien anderer Länder wie den USA, Japan, China und einigen Entwicklungsländern untersucht und mit der europäischen Strategie verglichen. Anschließend werden Handlungsempfehlungen gegeben, die sich auf wissenschaftliche und ökonomische Bereiche beziehen.

Schließlich wird eine Methodik vorgestellt, mit deren Hilfe eine detaillierte Roadmap zur zukünftigen Förderung der industriellen Biotechnologie erstellt werden soll.

## **Innovating for a Better Future - Sustainable Chemistry Strategic Research Agenda 2005**

**Autor:** European Technology Platform (ETP) for Sustainable Chemistry (SusChem)

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 104 Seiten

**Datum:** November 2005

**Zeithorizont:** 2025

**Werkstoffklasse:** Werkstoffe allgemein, Metalle, Verbundmaterialien/Polymere, Keramiken

Die Studie untersucht, wie die europäische Chemie-Industrie bis 2025 sowohl technologisch als auch ökonomisch gestärkt werden kann und auf zu erwartende Entwicklungen richtig reagieren kann.

Hierzu wird zunächst auf das heutige Marktvolumen und die aktuelle Bedeutung der globalen und europäischen chemischen Industrie eingegangen.

Anschließend werden Synergien zu anderen Bereichen anhand spezieller Themen ausgearbeitet, konkrete Ziele der Innovationsforschung in der chemischen Industrie vorgestellt und die Forderung nach einer Erhöhung der Förderungsetats an die EU gestellt.

Schließlich werden für drei Bereiche (Industrielle Biotechnologie, Materialwissenschaften und Reaction & Process Design) jeweils mehrere Schwerpunkte vorgestellt und Forschungsschwerpunkte ausgearbeitet, denen eine erhöhte Priorität zukommen sollte.

Forschungsschwerpunkte bei den Materialwissenschaften sind Katalyse und neue Katalysatormaterialien, das fundamentale Verständnis von Nano-interfaces, die Entwicklung neuer chemischer Reaktionen, polymere Nanostrukturen, die als Nanoreaktor zur Formierung von Nanopartikeln aus Metallen dienen, die Herstellung von Spezialmaterialien und Kompositen und die Herstellung nanoporöser polymerer Materialien.

## **Innovationsstandort Deutschland - quo vadis?**

**Autoren:** Boston Consulting Group

**Land/Region:** Deutschland

**Umfang:** 136 Seiten

**Datum:** Dezember 2006

**Prozess:** Patentrecherchen, Branchenstudien, Definition von Technologiefeldern

**Zeithorizont:** etwa 2015



**Werkstoffklasse:** neue Materialien (allgemein)

Die Studie der Boston Consulting Group analysiert die Innovationsfähigkeit des Standortes Deutschland anhand des Entwicklungsstandes sowie der Potenziale von 17 Technologiefeldern. Zu diesen zählen 12 erprobte Anwendungstechnologien (z. B. Automobil, Aerospace, Maschinenbau, Energie-, Umwelt-, Chemietechnologie, Medizintechnik, Biotech/Pharma) sowie fünf innovative Querschnittstechnologien (Weiße Biotechnologie, Neue Werkstoffe, Optische Technologien, Nanotechnologie, Mikroelektronik).

Insgesamt wird in Deutschland eine gute Innovationsbasis gesehen. So ist Deutschland insbesondere in einer Reihe von Anwendungstechnologien, in denen Forschungsergebnisse unmittelbar in Produkte umgesetzt werden können, bezüglich des Patentaufkommens führend.

Im Segment der innovativen Querschnittstechnologien, deren Ergebnisse zu Innovationsschüben bei Anwendungstechnologien führen, wird die Position Deutschlands im Bereich der neuen Werkstoffe (z. B. Hybridmaterialien, Klebstoffe, Coatings, Spezialpolymere), aber auch in Teilen der Nanotechnologie, als gut beurteilt. Um die erreichte Position auch in Zukunft zu halten bzw. auszubauen, ist vor allem die Umsetzung in Produkte und deren weltweite Vermarktung gefragt. Aufgabe des Staates ist eine differenzierte Unterstützung durch gezielte anwendungsorientierte Forschungsförderung, vor allem solcher Querschnittstechnologien (neue Werkstoffe, Nanotechnologie etc.), die helfen, Deutschland in führender Position zu halten. Zudem müssen gezielte weltweite Vermarktungsunterstützung sowie Investitionen in Pilotanwendungen erfolgen.

Innovative Werkstoffe sind für viele Branchen eine wichtige Voraussetzung, um selbst neue, qualitativ hochwertigere Produkte und kostengünstigere, energiesparendere bzw. umweltfreundlichere Herstellungsverfahren entwickeln zu können. Dies gilt insbesondere für den Fahrzeug- und Maschinenbau sowie die chemischen Industrie. Aber auch in der Elektrotechnik, der IuK, der Energieversorgung oder der Bauchemie spielen moderne Werkstoffe eine wichtige Rolle. So können Werkstoffe, die eine Nanostrukturierung zulassen, die Kapazität von Speicherchips dramatisch erhöhen. Oder aus polymeren Funktionswerkstoffen bestehende Wellenlängenmultiplexer (WDM) ersetzen in der optischen Telekommunikation zunehmend Halbleiter und Glas, da sie kostengünstiger sind. Insgesamt hat der Markt für Werkstoffe gute Wachstumsaussichten von etwa 5 % p. a.

In Deutschland wurden in der Vergangenheit zahlreiche Werkstoffe entwickelt. Besonders gut ist die deutsche Patentposition bei Herstellungsprozessen und speziellen Verfahren, wie dem Beschichten mit Polymeren. Die Patentanalyse zeigt hier eine deutliche Stärke der deutschen Forschung, beispielsweise bei kratzfesten bzw. „selbstheilenden“ Lacken für PWK. Eher schwach vertreten ist Deutschland dagegen dort, wo es

nur wenige inländische Abnehmer gibt, wie etwa bei lichtemittierenden Substanzen, die in der Elektronikindustrie eingesetzt werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt wird in einer möglichst großen Wertschöpfung gesehen. Hinsichtlich der Materialien bedeutet dies, dass es nicht genügt, hochinnovative Werkstoffe herzustellen und zu vermarkten, sondern, dass auch ein möglichst großer Teil der Wertschöpfung für das Endprodukt in Deutschland verbleibt.

Zentrale Themen, bei denen mit weiteren Forschungsanstrengungen und deutlichen Fortschritten gerechnet wird, sind Biomaterialien und Medizintechnik. Aber auch bei den traditionellen Werkstoffen ist nach wie vor sehr viel Potenzial vorhanden: Dies betrifft sowohl die Werkstoffe selbst als auch den Herstellungsprozess, der unter Umständen völlig neue Anwendungen ermöglicht. Hervorgehoben werden neben traditionellen Strukturwerkstoffen auch Funktionswerkstoffe („Smart Materials“), also Werkstoffe mit besonderen physikalischen (z. B. elektrischen oder optischen) Eigenschaften und Werkstoffe, die ihre Eigenschaften – von außen stimuliert – ändern können (z. B. Volumen, Viskosität, Absorption).

Die Studie fordert, hinsichtlich neuer Materialien vor allem der Grundlagenforschung weiterhin große Aufmerksamkeit zu widmen. Die Zeit von ersten Ergebnissen aus der Grundlagenforschung und dem Einsatz neuer Werkstoffe am Markt betragen in der Vergangenheit typischerweise 10 bis 20 Jahre. Zur Verkürzung dieser Zeitspanne ist es von Vorteil, bereits im Grundlagenstadium frühzeitig über Anwendungsmöglichkeiten nachzudenken. Hier kann die Einrichtung von zum Teil öffentlich, zum Teil von der Industrie geförderten Gemeinschaftsinstituten sinnvoll sein, die sich speziellen gemeinsamen Forschungszielen widmen. In den Niederlanden wurde mit dem Dutch Polymer Institute eine solche Einrichtung bereits geschaffen.

### **Langfaserverstärkte Thermoplaste (LFT) - Entwicklungsstand und Perspektiven**

**Autoren:** Süddeutsches Kunststoff Zentrum (HRSG)

**Land/Region:** Deutschland

**Umfang:** ca. 200 Seiten

**Datum:** Dezember 2006

**Prozess:** Fachvorträge

**Zeithorizont:** etwa 2010

**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe/Hybridmaterialien, Kunststoffe

Langfaserverstärkte Thermoplaste (LFT) haben in den letzten zwei Jahrzehnten als Konstruktionswerkstoff vor allem in der Automobilindustrie an Bedeutung gewonnen. Die Vorteile liegen bei einem sehr günstigen

Preis-/Leistungsverhältnis, niedrigem Gewicht und einer hohen erzielbaren Produktivität bei der Verarbeitung. Ein sehr gutes Steifigkeits-/Gewichtsverhältnis machen LFT verstärkt zu einem bevorzugten Werkstoff für komplexe, hochbelastete Strukturbauteile.

Das mechanische Leistungspotenzial faserverstärkter Kunststoffe ist direkt mit der relativen Faserlänge (Faserlänge zu Faserdurchmesser) der eingesetzten Verstärkungsfasern verbunden.

In den Beiträgen wird in der Kombination aus hoher Produktivität und dem hohen Integrationspotenzial (Vereinigung mehrerer Funktionen in einem Bauteil) bei gleichzeitiger Senkung der Systemkosten der wesentliche Vorteil der LFT gesehen. Diese Eigenschaften führten und führen zu einem stetigen, und gegenüber konventionellen Werkstoffen stark überproportionalen Marktwachstum.

Durch das stabil, auf hohem Niveau wachsende Marktvolumen für LFT-Bauteile gab es in den zurückliegenden Jahren eine Vielzahl neuer Material- und Verfahrensentwicklungen.

In der Automobilindustrie stehen sich zwei Anforderungskomplexe gegenüber: Zum einen erwartet der Markt eine immer umfangreichere Ausstattung der Fahrzeuge mit Sicherheits- und Komfortsystemen (Airbag- und Steuerungssysteme, Seitenaufprallverstärkungen, Servomotoren, Sensoren, Fahrerassistenzsystemen, stärkere Motorisierung etc), weiterhin stehen ökologische Forderungen nach Verbrauchsreduzierung, Emissionsenkung und Gewichtsreduzierung im Raum. Gleichzeitig sollen sich jedoch die Gesamtsystemkosten nicht erhöhen. Insgesamt ergibt sich damit ein Bedarf nach konsequentem Leichtbau bzw. Leichtbauwerkstoffen und dem Einsatz neuer Werkstoffkonzepte und Fertigungstechnologien. Während sich moderne Leichtbauwerkstoffe in anderen Industriezweigen bereits stark durchgesetzt haben, hat sich die Automobilindustrie bislang jedoch oft als konservativ erwiesen. Eine Ausnahme bilden hier lediglich die LFT-Werkstoffe auf der Basis von Glasfaser/Polypropylen, die aufgrund ihrer wettbewerbsfähigen Rohstoffpreise und der mit thermoplastischen Matrices realisierbaren Zykluszeiten die Anforderungen hinsichtlich Systemkosten und Stückzahlen erreichen.

### **Materials and Society - From Research to Manufacturing - Report of a Workshop**

**Autor:** National Materials Advisory Board

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 56 Seiten

**Datum:** 2002

**Prozess:** Fachworkshop

**Zeithorizont:** -

**Werkstoffklasse:** Werkstoffe allgemein, Polymere, Leichtbauwerkstoffe, Nanomaterialien, Biomaterialien

Die Zusammenfassung des Workshops beschäftigt sich zunächst mit dem Einfluss der Materialwissenschaften auf Forschung und Entwicklung. Dies geschieht unter anderem durch einen historischen Rückblick, bei dem auf die Rolle der Materialwissenschaften bei der Entwicklung der Elektronik des vergangenen Jahrhunderts eingegangen wird.

Danach wird auf die Rolle der Materialwissenschaften in ausgewählten Bereichen eingegangen, bei denen es sich um die nationale Sicherheit, die Automobilindustrie sowie die Energieindustrie handelt. Materialtypen, die in diesem Zusammenhang genannt werden, sind beispielsweise Polymere oder Leichtbauwerkstoffe.

Anschließend werden zukünftige Industriezweige und Forschungsbereiche der Materialwissenschaften betrachtet, hierzu zählen Nanomaterialien, Biomaterialien, optische Kommunikation und numerische Materialwissenschaften. Ebenfalls werden Anwendungsmöglichkeiten genannt, beispielsweise Bioimplantate, Drug-Delivery-Systeme oder Erbium-dotierte Fasern.

Schließlich folgt noch eine Diskussion zur Forschungsförderung, bei der unter anderem die Ausbildung von Nachwuchskräften betrachtet wird.

**Materials in the New Millenium – Responding to Society's Needs**

**Autoren:** National Materials Advisory Board, Division on Engineering and Physical Sciences, National Research Council

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 62 Seiten

**Datum:** 2001

**Prozess:** Proceedings of the 2000 National Materials Advisory Board Forum

**Werkstoffklasse:** Werkstoffe allgemein, Metalle/Legierungen, Polymere, Verbundwerkstoffe, Keramiken

Die Diskussion gibt einen allgemeinen Überblick über die Entwicklung der Werkstoffe und untersucht die Rolle von Werkstoffen in den Bereichen Informationstechnologie, Gesundheitstechnik, Biotechnologie und Sicherheitstechnik sowie Energie- und Umwelttechnologien. Die behandelten Werkstofftypen reichen von Metallen über Legierungen, Kompositen und Keramiken bis hin zu Polymeren und decken damit ein möglichst breites Feld ab.

Weiterhin wird die Rolle der Politik bei der Förderung von Materialwissenschaften untersucht und auf unterschiedliche Gewichtungen einzelner Forschungsbereiche seitens der Öffentlichkeit und der Politik eingegangen. Ein weiterer Schwerpunkt der Diskussionen ist die Bedeutung von Werkstoffwissenschaften für die nationale Sicherheit und den Arbeitsmarkt. Bei letzterem kommen die Diskussionsteilnehmer zu dem Schluss, dass die Zahl der Absolventen in „harten“ Studienfächern wie Physik oder Ingenieursstudiengängen zu gering ist.

### **Materials Research to Meet 21st Century Defense Needs: Interim Report**

**Autor:** Committee on Materials Research for Defense After Next, National Research Council

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 91 Seiten

**Datum:** 2001

**Zeithorizont:** 2020+-

**Werkstoffklasse:** Werkstoffe allgemein, elektronische und photonische Materialien, organische und hybride Materialien, Biomaterialien

Die Studie im Auftrag des amerikanischen Verteidigungsministeriums beschäftigt sich mit Werkstoffen, die den US-Streitkräften möglicherweise revolutionäre Vorteile bei der Bewaffnung, Logistik oder den Kosten bieten können. Konkret werden Leichtbaumaterialien, Sensormaterialien, Stealth-Materialien, Materialien mit hoher Energiedichte und elektronische bzw. photonische Materialien zur Kommunikation genannt.

Zunächst werden die technischen Anforderungen identifiziert, die langfristig von der Rüstungsindustrie erfüllt werden müssen.

Anhand dieser Anforderungen werden daraufhin die Bedürfnisse an neuartige Werkstoffe definiert und eine Strategie zur Erarbeitung von Forschungsschwerpunkten empfohlen. Diese besteht in der Errichtung von fünf verschiedenen Fachbereichen, die nach 12 Monaten Forschungsempfehlungen aussprechen sollen. Bei den fünf Fachbereichen handelt es sich um multifunktionale Materialien, „Energy and Power Materials“, elektronische und photonische Materialien, organische und hybride Materialien und bioaffine Materialien.

---

**Materials Science and Technology****Autor:** National Research Council**Projekt:** Challenges for the Chemical Sciences in the 21st Century**Land/Region:** USA**Umfang:** 98 Seiten**Datum:** 2001**Prozess:** Fachworkshop**Werkstoffklasse:** Werkstoffe allgemein, Polymere

Die Zusammenfassung eines Workshops von 2001 befasst sich vor allen Dingen mit den Auswirkungen der Materialwissenschaften auf die Chemie.

Zunächst werden Synergien zwischen aktuellen Forschungsschwerpunkten und Materialwissenschaften herausgearbeitet, die durch Beispiele aus den entsprechenden Bereichen ergänzt werden. Hierbei handelt es sich beispielsweise um Polymerelektronik.

Im nächsten Kapitel werden die wichtigsten Forschungsergebnisse auf Gebieten wie Katalyse, Elektronik und Polymeren vorgestellt und Anwendungsbereiche herausgearbeitet.

Anschließend werden Schnittstellen der Materialwissenschaften mit anderen Themenbereichen, wie Medizin oder der Informationstechnik, untersucht.

Weiterhin werden wichtige Herausforderungen der Materialwissenschaften genannt, bei deren Erforschung der Chemie eine wichtige Rolle zukommen könnte. Beispielhaft werden unter anderem die Lösung von Umweltproblemen und dezentrale Energieversorgung genannt.

Schließlich wird noch auf mehr oder weniger allgemeine Probleme der Forschung eingegangen, insbesondere die Kombination aus Lehre und Forschung, Forschungsförderung, das Ansehen der Forschung in der Bevölkerung, Schnittstellen zwischen chemischer Industrie und der Forschung an Universitäten und die Abschätzung des wirtschaftlichen Erfolgs von Forschung.



## Materials Technology Roadmap

**Autoren:** Materials Technical Team (MTT) of the FreedomCAR and Fuel Partnership

**Projekt:**

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 19 Seiten

**Datum:** 2004

**Prozess:**

**Zeithorizont:** 3-5, 5-10+ Jahre

**Werkstoffklasse:** Metalle, Polymere, Glas, Verbundwerkstoffe

Diese Roadmap enthält Strategien, Forschungsziele und zukünftige Forschungsthemen zu verschiedenen Leichtbaumaterialien für die amerikanische Automobilindustrie. Allgemeines Ziel ist eine 50-prozentige Gewichtsreduzierung bei Volumenmodellen bei gleichzeitiger Gewährleistung der Erschwinglichkeit solcher Fahrzeuge und steigendem Einsatz von wiederverwertbaren und erneuerbaren Materialien. Forschungs- und Entwicklungsziele werden in mittelfristige (3-5 Jahre) und langfristige (5-10 und mehr Jahre) Ziele unterteilt. Für die angestrebte Gewichtsreduzierung wird in dieser Roadmap ein Portfolio von folgenden Werkstoffen und Technologien beschrieben: Höchsthochfeste Stähle (AHSS); Aluminium; Kohlefaser/Polymer-Verbundwerkstoffe; Verglasungen; Magnesium; Metallmatrix-Komposite; Titan; Recycling; Innovative Materialien und Herstellungsprozesse.

### *Höchsthochfeste Stähle (AHSS)*

Als langfristiges Ziel wird eine Gewichtseinsparung von 15% bei Autokarosserien durch den Einsatz moderner höchstfester Stahlsorten (AHSS) ohne Kostensteigerung gegenüber herkömmlichen Materialien angestrebt. Mittelfristig sollen zunächst einzelne Komponenten aus AHSS in Karosserien integriert werden, ohne die bestehenden Herstellungsprozesse massiv zu verändern. Noch höhere Gewichtseinsparungen erfordern zusätzlich Änderungen im Karosseriedesign.

### *Aluminium*

Aluminiumteile können Komponenten aus Stahl oder Gusseisen in der Karosserie, im Chassis und im Antriebsstrang ersetzen mit einer Gewichtseinsparung um 40-60%. Dies soll langfristig ohne höhere Kosten gegenüber etablierten Materialien erreicht werden. Dabei ist die größte Herausforderung, die Kosten für das Rohmaterial auf ein vergleichbares Niveau zu bringen.

### *Kohlefaser/Polymer-Verbundwerkstoffe*

Für faserverstärkte Polymer-Verbundwerkstoffe bieten sich vielseitige Einsatzmöglichkeiten im Fahrzeugbau mit Gewichteinsparungen für einzelne Komponenten gegenüber Stahl von 25-30% (Glasfasern) bis 60-70% (Kohlefasern). Die Hauptprobleme, die hier zu lösen sind, liegen bei den Materialkosten, Zuliefererkapazitäten, hohen Produktionsvolumen, der Beständigkeit und dem Crash-Verhalten sowie Füge-techniken und dem Recycling. Im mittelfristigen Zeitraum von 3-5 Jahren soll die technische Einsatzfähigkeit von großen Strukturen aus kohlefaserverstärkten Kompositen im Auto demonstriert werden. Wichtige Fortschritte bei der Entwicklung von kostengünstigen Kohlefasern, von Modellen zur Vorhersage von Crash-Verhalten und Beständigkeit, von robusten Füge-techniken und ökonomischen Recyclingverfahren werden erst langfristig erwartet.

### *Verglasungen*

Verglasungen machen ca. 5% der Masse eines typischen Fahrzeugs aus. Durch den Einsatz von leichten Glaswerkstoffen kann dieser Anteil langfristig um 50% reduziert werden. Dazu müssen Leichtbau-Gläser entwickelt werden, die in ihrer optischen Qualität, in ihrer Beständigkeit und ihrem Bruchverhalten konventionellen Glasmaterialien gegenüber gleichwertig sind. Mittelfristig sollen auch Computermodelle entwickelt werden, um Eigenschaften wie das Geräusch und Wärmetransmissionsverhalten dieser neuen Verglasungswerkstoffe vorherzusagen.

### *Magnesium*

Magnesium bietet sich für ausgewählte Druckgussteile im Fahrzeugaufbau und im Antriebsstrang an. FuE-Bedarf besteht hier beim Finden geeigneter wärme- und korrosionsbeständiger Magnesiumlegierungen, bei der Fertigung von großen Mg-Gussteilen, bei Mg-basierten Metallmatrix-Kompositen und geeigneten Füge-techniken. Weitere FuE-Themen liegen im Bereich der Verbesserung der Verarbeitungsverfahren, der Kosteneffizienz, robusten Beschichtungen, ökonomischen Produktionsverfahren für Mg-Bleche, Umformtechnologien und Methoden zur Wiederverwertung von recyceltem Magnesium. Langfristig können Mg-Gussteile Eisen-basierte Komponenten mit einer Gewichtseinsparung von 60-75% und Aluminiumteile mit 20-30% Gewichtsreduzierung ersetzen. Auch das gegenwärtige Problem des Einsatzes von SF<sub>6</sub> während der Verarbeitung von Magnesium soll langfristig gelöst werden.

### *Metallmatrix-Komposite*

Dies ist noch eine sehr junge Werkstoff-Familie mit vielen interessanten Eigenschaften. Für den breiten Einsatz im Fahrzeugbau müssen aber noch viele Probleme bewältigt werden in Bereichen, wie z.B. der thermischen Stabilität, der Biagsamkeit und der Verarbeitung. Während bei den Mischprozessen schon erhebliche Einsparungen der Produktionskosten

erreicht werden konnten, müssen noch effiziente Technologien für das Fertigpressen und die Weiterverarbeitung entwickelt werden.

### *Titan*

Da die Rohstoffkosten von Titan für eine breite Verwendung im Fahrzeugbau derzeit zu hoch sind, konzentrieren sich die F&E-Aktivitäten hier hauptsächlich auf technologische Ansätze zur Reduzierung dieser Kosten. Im nächsten Schritt sollen dann effiziente Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse entwickelt werden.

### *Innovative Materialien und Herstellungsprozesse*

Als „Emerging Materials“ werden hier Metall- und Polymerschäume, Nanokomposite, mikrostrukturierte und biomimetische Materialien sowie bis jetzt noch nicht als potenzielle Werkstoffe erkannte Stoffe betrachtet. Ebenso werden innovative Methoden zur Herstellung von neuartigen Hybridmaterialien (z.B. Metall/Polymer-Komposite) oder neue Verfahren zur Produktion, Verarbeitung und Kontrolle von herkömmlichen Werkstoffen genannt. Zunächst sollen mittelfristig solche Materialien und Technologien identifiziert und ihre Eignung für den Einsatz im Fahrzeugbau untersucht werden, bevor sie langfristig in die Produktion integriert werden.



### **Metallschäume in der Wärmetechnik**

**Autoren:** BINE Informationsdienst

**Land/Region:** Deutschland

**Umfang:** 4 Seiten

**Datum:** Dezember 2005

**Prozess:** Verbundvorhaben des BMWi

**Zeithorizont:** 2008

**Werkstoffklasse:** Metalle

Offenporige Metallschäume sind leicht und mechanisch fest. Sie weisen eine große innere Oberfläche auf und können von Flüssigkeiten und Gasen durchströmt werden. Der Werkstoff bietet gute Voraussetzungen für einen Einsatz in der Klima-, Kälte- und Lufttechnik. Hindernisse für eine breitere technische Anwendung waren bislang vor allem mangelnde Kenntnisse über die thermischen und physikalischen Eigenschaften. In einem zwischen 2002 und 2004 laufenden Forschungsprojekt des BMWi wurden Rechenmethoden zur Beschreibung der Eigenschaften von Metallschäumen sowie Kriterien für deren möglichen Einsatz in wärmetechnischen Komponenten erarbeitet. Das Projekt wird derzeit vom Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH bis 2008 fortgeführt. Hier werden offenporige Metallschäume hinsichtlich eines Einsatzes in Latentspeichern zur Klimatisierung von Räumen untersucht. Offenporige Metall-

schäume haben aufgrund ihrer Porosität nur etwa 6-15 % der Dichte ihres Ausgangsmaterials und lassen sich mechanisch leicht bearbeiten. Anwendungen beruhen zumeist auf dem Druckverlust bei Durchströmung oder der Wärmeübertragung. Die thermischen und Strömungseigenschaften können über die Wahl des Ausgangsmaterials sowie Materialparameter eingestellt werden.

Im Rahmen des Projektes wurden Labormuster verschiedener wärmetechnischer Komponenten entwickelt und erprobt, um die praktischen Einsatzmöglichkeiten beurteilen zu können. Metallschäume ermöglichen im Vergleich zu konventionellen Werkstoffen höhere Leistungsdichten und vielseitigere Konstruktionsmöglichkeiten bei kompakter Bauweise. Als besonders aussichtsreiche Einsatzgebiete für Metallschäume kristallisierten sich Wärmeübertrager in Kollektoren und Latentwärmespeichern, Strömungsgleichrichtern sowie Rekuperatoren und Kühlelementen für flüssige Fluide heraus. Weitere Möglichkeiten könnten sich aus der Beeinflussung von Magnetfeldern (Abschirmung) oder ihren guten energieabsorbierenden Eigenschaften ergeben. Hier können sich Werkstoffe aus Metallschäumen zur Verarbeitung in crashgefährdeten Bauteilen eignen. Daneben zeichnet sich jedoch auch ab, in welchen Anwendungsbereichen Metallschaumkomponenten keine Vorteile bringen. So zeigen Metallschäume keine guten schallabsorbierenden Wirkungen. Weiterhin können Metallschaumstrukturen feinrippige, gasdurchströmte Strukturen an Wärmeübertragern nicht ersetzen. Hier lassen sich die wärmetechnischen Eigenschaften zwar verbessern, dieser Vorteil wird jedoch durch den höheren Druckverlust innerhalb des Materials hinsichtlich der praktischen Verwendbarkeit wieder aufgehoben. Wenig aussichtsreich ist auch die Integration fester Sorbentien, etwa für die Luftentfeuchtung.

## **Nanoelectronics and Nanotechnologies**

**Autor:** Colin Lambert

**Projekt:** Beyond the Horizon – TG21

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 18 Seiten

**Datum:** Januar 2006

**Zeithorizont:** 10 Jahre

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien, Nanoelektronik

Die Studie beschäftigt sich mit der Frage, wie die Entwicklung der Leistung von Computerchips trotz der Einschränkung, die bei der Verwendung herkömmlicher Silizium-Bauteile in etwa 10 Jahren eintreten wird, voran getrieben werden kann.

Hierzu werden nach Auffassung des Autors alternative Informationsträger (Spins, Photonen, Phononen etc.), aber auch alternative Materialien (SiC, InGaAs, etc.) und neuartige Strukturen (SoI) und Herstellungsprozesse sowie alternative Funktionen und Rechnerarchitekturen benötigt.

Anschließend werden 6 Empfehlungen vorgestellt, die die EU in den wesentlichen Bereichen optimal positionieren sollen. Hierzu gehören Chipsätze mit besonders vielen Transistoren, Chipsätze auf Basis biologischer Zellen und Nanoelektronik, stromsparende Chips, Ausnutzung von Quanteneffekten in Schaltkreisen auf Nanoskala, Nanoelectromechanical Systems (NEMS) und Alternativen zu CMOS-Halbleiter-elementen.



### **Nanomaterial Roadmap 2015: Roadmap Report Concerning the Use of Nanomaterials in the Aeronautics Sector**

**Autoren:** Jonathan Loeffler, Ulrich Sutter (Steinbeis-Europa-Zentrum); Eric Jourdain, Sidney Kristiansen (Comité Richelieu - Industrial Federation for High Tech SMEs, France)

**Projekt:** NanoRoadSME, FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 97 Seiten

**Datum:** März 2006

**Prozess:** Erstellung einer Datenbank mit über 100 Nanomaterialien; Umfrage mit über 300 KMUs; 6 Experteninterviews; 1 Workshop mit 16 teilnehmenden Unternehmen/Organisationen

**Zeithorizont:** 2006-2020 bzw. 0-2, 3-5, 6-10 Jahre

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien, Verbundwerkstoffe

Der Einsatz von Nanomaterialien soll die Luftfahrtindustrie bei der Erreichung folgender Ziele unterstützen: Senkung der Anschaffungskosten von Flugzeugen um 35%, Senkung der Wartungskosten um 25%, Reduzierung des Treibstoffverbrauchs um 20%, Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 50% und der Stickoxid-Emissionen um 80% sowie Verringerung des internen und externen Lärms auf die Hälfte der aktuellen Durchschnittswerte. Diese Roadmap soll KMUs als Hilfe bei der Suche nach neuen Werkstoffen für neue Produkte im Bereich der Luftfahrtindustrie dienen. Dabei wird schwerpunktmäßig eine Materialdatenbank als neues Instrument des Technologie-Roadmappings eingesetzt. Das Dokument ist in folgende vier Anwendungsbereiche im Flugzeugbau gegliedert: Flugzeugzelle und Komponenten, Lacke und Beschichtungen, Triebwerke und Triebwerkskomponenten, elektrische und elektronische Ausrüstung. Für jeden dieser Bereiche wird ein Überblick gegeben über relevante Entwicklungshemmnisse und mögliche Lösungsansätze, diese

zu durchbrechen. Dazu wird für die jeweils relevanten Nanomaterialien in drei Diagrammen die technologische Entwicklung in der Zeit von 2006 bis 2020 sowie die Entwicklung der Materialkosten und der Marktgröße im kurz- (0-2 Jahre), mittel- (3-5 Jahre) und langfristigen (6-10 Jahre) Zeitrahmen dargestellt. In einer Tabelle werden für die gleichen Zeitintervalle mögliche industrielle Anwendungen der verschiedenen Werkstoffe genannt. Zu jedem genannten Nanomaterial gibt es einen Textabschnitt, in dem die besonderen Eigenschaften, Vor- und Nachteile, möglichen Anwendungen und Entwicklungshemmnisse kurz beschrieben werden.

#### *Flugzeugzelle und Komponenten*

Für Strukturkomponenten der Flugzeugzelle sind vor allem Nanokomposite, wie Kohlenstoff-Nanoschäume, POSS (Polyedrische oligomere Silsesquioxane), sowie Verbundwerkstoffe mit Nanofasern aus Kohlenstoff-Nanopartikeln interessant. Neben den Polymer-Matrix-Kompositen sind aber auch Nano-Komposite auf der Basis von Metallen und Keramiken von Bedeutung. Weiterhin werden Metallteile aus Aluminium, Magnesium, Stahl, Titan oder Speziallegierungen (z.B. Aluminium-Magnesium) genannt, die durch den Einsatz von Nanopartikeln verbesserte mechanische Eigenschaften erhalten. Für thermische Isolierungen und Brandschutz spielen Nano-Komposite mit Keramik- oder Polymer-Matrix eine wichtige Rolle. Weitere Anwendungsmöglichkeiten für Nanomaterialien ergeben sich bei Reifen, Schmiermitteln und elektromagnetischen Abschirmungen. Es wird für Nanomaterialien aus fünf verschiedenen Kategorien die erwartete Entwicklung vom Prototypenstadium bis zum Markteintritt graphisch dargestellt. Bis auf Kohlenstoffnanoröhren wird für alle diese Materialien der Markteintritt erst in der mittel- bis langfristigen Zukunft gesehen (für die meisten etwa 2010). Polymer-Matrix-Verbundwerkstoffe mit Kohlenstoff-Nanopartikeln sind kurzfristig die teuersten Nanomaterialien, werden aber mittel- bis langfristig am stärksten im Preis nachlassen. Dagegen werden Siliziumcarbid-Fasern vorerst auf einem relativ hohen Preisniveau bleiben.

#### *Lacke und Beschichtungen*

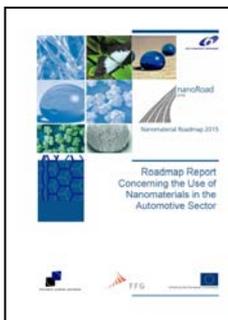
Eine wesentliche Funktion von Beschichtungen ist der Korrosionsschutz von Metallen und Legierungen. Aufgrund der Gewichtsvorteile sollen verstärkt Magnesium-Legierungen eingesetzt werden, jedoch sind die Gesundheits- und Umweltbelastungen durch die aktuellen Chrombasierten Beschichtungsverfahren äußerst problematisch. Daher werden zur Zeit Nanobeschichtungen für diese Anwendung entwickelt und zur Marktreife gebracht. Einige andere Beschichtungsverfahren zur Reduzierung von Luftwiderstand und Turbulenzen, zur Verbesserung der Beständigkeit und Strapazierfähigkeit, für bessere thermische Barrieren sowie UV-beständige Pigmente sind ebenfalls marktreif oder ihr Markteintritt wird kurzfristig erwartet.

### *Triebwerke und Triebwerkkomponenten*

Hier werden zum einen Metalle oder Legierungen mit nanokristalliner Struktur als Leichtbaumaterialien und zum anderen Nanopartikel und -pulver als Beschichtungen mit verbesserten Eigenschaften gegenüber konventionellen Materialien eingesetzt. Durch diese neuen Materialien und Verfahren verspricht man sich vor allem eine bessere Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit, eine verbesserte Verbrennung (und dadurch geringeren Treibstoffverbrauch) und bessere Reibungseigenschaften. Aktuell sind nur zwei der 11 genannten Nanomaterialien (Al-Mg-Pulver, Carbid-Beschichtungen) auf dem Markt. Der Markteintritt von Bornitrid-Kompositen und Metall-Legierungen mit Nanopartikeln wird für 2011-2012 erwartet.

### *Elektrische / elektronische Komponenten und Hardware*

Da der Bereich der Nanoelektronik sehr groß ist, beschränkt sich die Studie nur auf ein Teil der möglichen Technologien und Anwendungen. Es werden Nanomaterialien für den Einsatz in Visualisierungs- und Display-Systemen, Sensoren, On-Board-Elektronik und Verkabelung betrachtet. Für die Anwendung in Displays sind kurzfristig vor allem Kohlenstoffnanoröhren und Yttriumoxide interessant. Mittelfristig werden Polymerbasierte Nanopartikel und dünne Schichten eine immer wichtigere Rolle, nicht nur für Displays, sondern auch für Stromversorgungssysteme, optoelektronische Komponenten und andere Bauteile bis hin zu Quantencomputern spielen.



### **Nanomaterial Roadmap 2015: Roadmap Report Concerning the Use of Nanomaterials in the Automotive Sector**

**Autoren:** Ulrich Sutter, Jonathan Loeffler (Steinbeis-Europa-Zentrum); Marcus Bidmon, H el ene Valadon, Rita Ebner (FFG -  sterreichische Forschungsf rdergesellschaft)

**Projekt:** NanoRoadSME, FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 105 Seiten

**Datum:** März 2006

**Prozess:** Erstellung einer Datenbank mit über 100 Nanomaterialien; Umfrage mit über 300 KMUs; Experteninterviews; Analyse von Studien und Websites

**Zeithorizont:** 2006-2020 bzw. 0-2, 3-5, 6-10 Jahre

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien, Verbundwerkstoffe

Entwicklungen in der Automobilindustrie werden durch Faktoren, wie Reduktion der Abgasemissionen, Gewichtsreduktion, Recyclef higkeit, Sicherheit, höhere Effizienz (geringerer Kraftstoffverbrauch), ästhetische

Aspekte, längere Lebensdauer und verbesserte Oberflächenqualität getrieben. Die Umsetzung neuer Technologien muss aber stets mit der dominanten Zielsetzung einer kontinuierlichen Kostenreduzierung in Einklang gebracht werden. Diese Roadmap soll KMUs als Hilfe bei der Suche nach neuen nanotechnologischen Werkstoffen für neue Produkte im Bereich des Automobilbaus dienen. Dabei wird schwerpunktmäßig eine Materialdatenbank als neues Instrument des Technologie-Roadmappings eingesetzt. Das Dokument ist in folgende acht Anwendungsbereiche im Fahrzeugbau gegliedert: Chassis und Karosserie, Motor und Antriebsstrang, Lacke und Beschichtungen, Schmierung, Reifen, Radaufhängung und Bremsen, elektrische und elektronische Ausrüstung, Auspuffanlage und Katalysator. Für jeden dieser Bereiche wird ein Überblick gegeben über relevante Entwicklungshemmnisse und mögliche Lösungsansätze, diese zu durchbrechen. Dazu wird für die jeweils relevanten Nanomaterialien in drei Diagrammen die technologische Entwicklung in der Zeit von 2006 bis 2020 sowie die Entwicklung der Materialkosten und der Marktgröße im kurz- (0-2 Jahre), mittel- (3-5 Jahre) und langfristigen (6-10 Jahre) Zeitrahmen dargestellt. In einer Tabelle werden für die gleichen Zeitintervalle mögliche industrielle Anwendungen der verschiedenen Werkstoffe genannt. Zu jedem genannten Nanomaterial gibt es einen Textabschnitt, in dem die besonderen Eigenschaften, Vor- und Nachteile, möglichen Anwendungen und Entwicklungshemmnisse kurz beschrieben werden.

#### *Chassis und Karosserie*

Es werden 13 verschiedene Nanomaterialien für den Einsatz in diesem Bereich genannt. Davon sind Kohlenstoffnanoröhren und Nickelpulvermaterialien bereits auf dem Markt. Für die meisten anderen Werkstoffe wird der Markteintritt um das Jahr 2010 erwartet. Polymere mit Kohlenstoff-Nanopartikeln als Füller und Kohlenstoffnanoschäume sind noch in einem früheren Stadium und werden erst 2015 bzw. 2019 auf dem Markt erwartet. Die meisten Materialien, die hier diskutiert werden, sind Verbundwerkstoffe aus einem konventionellen Basismaterial, wie Aluminium, Magnesium, Titan bzw. Legierungen aus diesen Metallen sowie Edelstahl oder Polymere, die mit Nanopartikeln, -fasern oder -kristallen kombiniert werden. Wichtigstes Kriterium für die Anwendung von Nanokompositen in verschiedenen Strukturkomponenten eines Fahrzeugs ist die Kombination aus geringer Masse und hoher Stabilität. Die Feuerbeständigkeit vieler Nanokomposite macht diese Materialien auch für den Einsatz im Innenraum interessant.

#### *Motor und Antriebsstrang*

Neue Nanomaterialien werden in diesem Bereich zur Steigerung der thermischen und mechanischen Effizienz und Leistungsfähigkeit, zur Senkung der Emissionen (Umwelt und Lärm), zur Erhöhung der Verlässlichkeit und Beständigkeit und zur Reduzierung von Gewicht und Größe einzelner Komponenten beitragen. Der Einsatz von nanokeramischen

Materialien ermöglicht ein völliges Überdenken der inneren Struktur von Verbrennungsmotoren und der Beschichtungen ihrer Komponenten. Durch Carbid-Beschichtungen oder ähnliche Materialien könnten verschleißfeste Zylinder, Kolben, Lager, und andere mechanische Teile erreicht werden. Um einen geringeren Kraftstoffverbrauch zu erreichen, sollen auch im Antriebsbereich Leichtbauwerkstoffe, wie neuartige Metalllegierungen oder Metall-basierte Materialien mit Nanopartikel-Struktur eingesetzt werden. Ein großes Potenzial haben hier aber auch (faser-)verstärkte Nanopolymere. Aktuell hat noch keines der insgesamt 15 beschriebenen Nanomaterialien den Markt erreicht. Als erstes werden Marktanwendungen für Eisen-Kupfer-Niob-Silizium-Bor-Legierungen und Nylonfasern prognostiziert. Marktreife Anwendungen von Polymeren mit Kohlenstoff-Nanopartikeln im Motor- und Antriebsbereich werden nicht vor 2015 erwartet.

#### *Lacke und Beschichtungen*

In diesem Bereich gibt es kontinuierliche Entwicklungen beim Einsatz von nanotechnologischen Materialien zur Verbesserung der Beständigkeit von Oberflächen gegen Regen, Schnee, Salze, Saure Ablagerungen, UV-Strahlung und Luftfeuchtigkeit sowie gegen Absplittern, Fleckenbildung und Kratzer. Von den 12 beschriebenen Materialien kommen bereits 6 in Marktanwendungen zum Einsatz. Für neue Materialien wie, pyrogene Kieselsäure, Eisenoxid-Nanopartikel, Metall-Keramik-Nanokomposite, Montmorillonit-Nanofasern, PS-PEO-nanostrukturierte Schichten und POSS-nanostrukturierte Katalysatoren wird der Markteintritt nicht vor 2010 erwartet.

#### *Schmierung*

Nanotechnologie-basierte Schmiermittel reduzieren die Reibung beweglicher Teile, minimieren den Verschleiß, sparen Wartungs- und Instandhaltungskosten, reduzieren den Kraftstoffverbrauch und umweltbelastende Emissionen und verbessern insgesamt die Performance eines Fahrzeugs. Die Nanotechnologie liefert hier zum einen Schmierstoffe aus Nanopartikeln und zum anderen Schmiermittelfreie Lager durch verschleißfeste Beschichtungen. Carbid-Beschichtungen und Ruß-Nanopartikel kommen bereits zum Einsatz. Für pyrogene Kieselsäurepartikel, metallkeramische Nanokomposite und polymer-basierte Nanopartikel und Beschichtungen wird der Markteintritt kurz- bis mittelfristig erwartet.

Weitere Anwendungsbereiche:

*Reifen - Radaufhängung und Bremsen - elektrische und elektronische Ausrüstung - Auspuffanlage und Katalysator*

## Nanomaterial Roadmap 2015: Roadmap Report Concerning the Use of Nanomaterials in the Energy Sector

**Autoren:** Ulrich Sutter, Jonathan Loeffler (Steinbeis-Europa-Zentrum)

**Projekt:** NanoRoadSME, FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 88 Seiten

**Datum:** März 2006

**Prozess:** Erstellung einer Datenbank mit über 100 Nanomaterialien; Umfrage mit über 300 KMUs; Experteninterviews; Analyse von Studien

**Zeithorizont:** 2006-2020 bzw. 0-2, 3-5, 6-10 Jahre

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien, Verbundwerkstoffe

Diese Roadmap soll KMUs als Hilfe bei der Suche nach neuen Werkstoffen für neue Produkte im Bereich Energie dienen. Dabei wird schwerpunktmäßig eine Materialdatenbank als neues Instrument des Technologie-Roadmappings eingesetzt. Das Dokument ist in folgende neun Anwendungsbereiche gegliedert: Energieproduktion (Photovoltaik, Wasserstofftechnologie, Thermoelektrizität, solarthermische Energie, Bioenergie), Energiespeicherung (Akkumulatoren, Wasserstoffspeicher, Superkondensatoren) und Energieeinsparung (Isolation, effizientere Lichtquellen wie LEDs und OLEDs, Verbrennung, leichtere Materialien). Jeder dieser Bereiche wird auf drei Ebenen, der Anwendungsebene, der Produktebene und der Material- oder Werkstoffebene betrachtet. In den meisten Fällen bieten Nanopartikel aufgrund ihrer großen spezifischen Oberfläche Effizienzvorteile gegenüber herkömmlichen Technologien. Es wird ein Überblick gegeben über relevante Entwicklungshemmnisse und mögliche Lösungsansätze, diese zu durchbrechen. Dazu wird für die jeweils relevanten Nanomaterialien in drei Diagrammen die technologische Entwicklung in der Zeit von 2006 bis 2020 sowie die Entwicklung der Materialkosten und der Marktgröße im kurz- (0-2 Jahre), mittel- (3-5 Jahre) und langfristigen (6-10 Jahre) Zeitrahmen dargestellt. In einer Tabelle werden für die gleichen Zeitintervalle mögliche industrielle Anwendungen der verschiedenen Werkstoffe genannt. Die besonderen Eigenschaften, Vor- und Nachteile, mögliche Anwendungen und Entwicklungshemmnisse der verschiedenen Nanomaterialien werden kurz beschrieben.

### *Energieproduktion*

Bei der Entwicklung neuer Materialien für Solarzellen sind neben der Energieumwandlungseffizienz auch Faktoren wie die Konstruktions- und Halterungsmöglichkeiten, Herstellungskosten, Verlässlichkeit und Toxizität zu beachten. Für hocheffiziente Solarzellen in Spezialanwendungen (z.B. Weltraum) sind poröse dünne Schichten aus InP-Nanopartikeln oder -Nanodrähten interessant. Fullerene werden als Elektronenakzepto-



ren in Verbindung mit Licht-absorbierenden organischen Molekülen in neuartigen Solarzellen diskutiert. Bei Solarzellen, die auf nanokristallinen Farbstoffen beruhen (Grätzel-Zellen), ist noch eine Steigerung der Effizienz erforderlich. Beschichtungen aus metall-keramischen Nanokompositen werden ebenfalls als neues Solarzellenmaterial erwartet. Weitere interessante Technologien basieren auf Polymer-Nanoschichten oder Silizium-Nanopulvern und -Nanodrähten. Bei allen diesen Technologien wird kurz- bis mittelfristig mit ersten Marktanwendungen gerechnet. Die größte Herausforderung im Bereich der Wasserstofftechnologien bzw. Brennstoffzellen wird in den hohen Kosten durch den Einsatz teurer Materialien für Elektroden, Elektrolyte, Membranen und Katalysatoren gesehen. Hier könnten nanoskalige hydrophile anorganische Materialien in Elektrolyten die Effizienz von Brennstoffzellen erhöhen. Für nanostrukturierte Beschichtungen von Elektroden sind mittelfristig  $\text{CeO}_2$  und metall-keramische Nanokomposite interessant. Kurzfristig wird auch eine Effizienzsteigerung bzw. Material- und damit Kosteneinsparung durch den Einsatz von Platin-Nanopartikeln als Katalysatormaterial erwartet. Dazu müssen aber noch Probleme bei der unerwünschten Aggregation der Nanopartikel sowie bei der Lagerung, dem Transport und dem Recycling gelöst werden. Für den Einsatz in thermoelektrischen Elementen werden mittelfristig entscheidende Fortschritte bei Bor-Nanodrähten und Carbid-Beschichtungen erwartet.

#### *Energiespeicherung*

Im Bereich der Akkumulatoren ermöglichen Nanokristalline Komposite oder Nanoröhren durch ihre große aktive Oberfläche die Steigerung der Energie- und Leistungsdichte sowie der Be- und Entladungsraten. Weitere Faktoren, die hier eine wichtige Rolle spielen, sind Lebensdauer, Sicherheit, Kosten, Toxizität und Entflammbarkeit. Als neue Elektrodenmaterialien sind mittelfristig Rußpartikel, Graphitpartikel und Polypyrrol-Nanoröhren interessant, langfristig auch Kohlenstoff-Nanoröhren und Kohlenstoff-Metall-Lithium-Fluorid-Nanokomposite (CMFNC). Als feste Elektrolytmaterialien werden mittelfristig metall-keramische Nanokomposite erwartet. Weitere interessante Materialien für den zukünftigen Einsatz in Batterien und Akkumulatoren sind nanoporöse Kohlenstoffe und nanokristalline Pulver aus Magnesium-Nickel-Legierungen. Alle bisher verfügbaren Speichersysteme für Wasserstoff verfügen noch nicht über eine ausreichende Speicherkapazität. Nanostrukturierte Materialien auf der Basis von Aluminium-Magnesium- oder Magnesium-Nickel-Legierungen sind für diese Anwendung besonders interessant. Mit marktreifen Anwendungen wird aber erst in 6-10 Jahren gerechnet.

#### *Energieeinsparung*

Ein großes Einsparpotenzial besteht durch thermische Isolierung im industriellen und privaten Bereich. Hier könnten in Zukunft Aerogele auf der Basis von Silizium oder Kohlenstoff eingesetzt werden. Wärmestrah-

lungsreflektierende Oberflächen könnten durch dünne Schichten aus Polymer-dispergierten Flüssigkristallen realisiert werden. Weitere Nanomaterialien, die mittel- bis langfristig für Isolierungsanwendungen interessant werden, sind Komposite aus einer Keramik-Matrix mit Nanokohlenstoffen, Montmorillonit-Polymer-Komposite, POSS-gefüllte Polymere und Polymere mit Kohlenstoff-Nanopartikeln. Der Markteintritt dieser innovativen Isoliermaterialien wird aber erst mittel- bis langfristig erwartet. Energieeinsparung ist auch möglich durch den Einsatz effizienterer Lichtquellen, wie LEDs und OLEDs. Hierfür werden nanostrukturierte Materialien auf der Basis von Kohlenstoffnanoröhren, Polyacrylnitrilen (PAN) oder Zinkoxiden diskutiert. Für Flächenlichtquellen und Displays sind auch verschiedene Polymer-Nanofilme interessant. Schließlich werden verschiedene Nanomaterialien, vor allem Verbundwerkstoffe auf Metall-, Polymer- oder Keramikbasis, verstärkt durch Nanopartikel oder -fasern, für den Einsatz als Leichtbauwerkstoff besprochen.

### **Nanomaterial Roadmap 2015: Roadmap Report Concerning the Use of Nanomaterials in the Medical & Health Sector**

**Autoren:** René de Groot (Syntens - Stichting Syntens, Innovation Network for Entrepreneur, Netherland); Jonathan Loeffler, Ulrich Sutter (Steinbeis-Europa-Zentrum)

**Projekt:** NanoRoadSME, FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 137 Seiten

**Datum:** März 2006

**Prozess:** Erstellung einer Datenbank mit über 100 Nanomaterialien; Umfrage mit über 300 KMUs; Experteninterviews; Analyse von Studien und Websites

**Zeithorizont:** 2006-2020 bzw. 0-2, 3-5, 6-10 Jahre

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien, Verbundwerkstoffe

Diese Roadmap soll KMUs als Hilfe bei der Suche nach neuen Werkstoffen für neue Produkte im Bereich der Medizin und Gesundheit dienen. Dabei wird schwerpunktmäßig eine Materialdatenbank als neues Instrument des Technologie-Roadmappings eingesetzt. Das Dokument ist in folgende neun Anwendungsbereiche der Medizin und Gesundheit gegliedert: Darreichungssysteme, Bildgebung, Kosmetik, Medikamentenentwicklung, Diagnosemethoden, Chirurgie (passive und aktive Implantate), Gewebezüchtung, Nahrungsmittel und Genomforschung und Proteomik. Für jeden dieser Bereiche wird ein Überblick gegeben über relevante Entwicklungshemmnisse und mögliche Lösungsansätze, diese zu durchbrechen. Dazu wird für die jeweils relevanten Nanomaterialien in



drei Diagrammen die technologische Entwicklung in der Zeit von 2006 bis 2020 sowie die Entwicklung der Materialkosten und der Marktgröße im kurz- (0-2 Jahre), mittel- (3-5 Jahre) und langfristigen (6-10 Jahre) Zeitrahmen dargestellt. In einer Tabelle werden für die gleichen Zeitintervalle mögliche industrielle Anwendungen der verschiedenen Werkstoffe genannt. Die besonderen Eigenschaften, Vor- und Nachteile, mögliche Anwendungen und Entwicklungshemmnisse der verschiedenen Nanomaterialien, werden kurz beschrieben.

#### *Darreichungssysteme („Drug delivery“)*

Nanopartikel können als Arzneistoffträger für Wirkstoffe eingesetzt werden, um das Medikament über biologische Barrieren hinweg im Körper dorthin zu bringen, wo es wirken soll. Die Technologien, die hier eine Rolle spielen, können in drei Felder klassifiziert werden: Freisetzungstechnologien (gepulste, Feedback-kontrollierte oder konstante Wirkstofffreisetzung), aktive und passive „Targeting“-Technologien sowie kontrollierter Membranen-Transport. Die wichtigsten Einnahmeformen, die hier diskutiert werden sind: orale Einnahme, Inhalation, transdermal, transmukosal, Injektion, Implantate, parenterale Verabreichung, Liposom-basierte Darreichungssysteme und „nadelfreie“ Injektionssysteme.

Einige Technologien sind schon sehr weit entwickelt und befinden sich in der klinischen Testphase oder am Beginn des Markteintritts. Dazu gehören der Einsatz von Kern-Mantel-Partikeln, Fullerenen, Goldpartikeln, PLLA-Nanofasern, PLGA-Nanofasern und Silbernanopartikeln. Die Anwendung von anderen Polymer-basierten Nanopartikeln und -fasern wird kurzfristig, die von Nanopartikeln auf Eisen-Basis mittelfristig erwartet. Noch großen Forschungs- und Entwicklungsbedarf sieht man bei den biotechnologischen Systemen, die auf der Nutzung von DNA-Nanopartikeln, Lipid-Nanocontainern, Peptid- oder Protein-basierten Selbstorganisations- und Erkennungssystemen und Viruspartikeln aufbauen. Ein Markteintritt dieser Technologien ist im betrachteten Zeitraum bis 2020 nicht abzusehen.

#### *Bildgebung*

Es wird erwartet, dass Nanopartikel, z.B. aus Gold, Eisen, Fluor, Mangan oder Quantenpunkten, bei der Entwicklung neuer Kontrastmittel für praktisch alle bildgebenden Diagnosemethoden (Magnetresonanz, Röntgen, Ultraschall, optische und nukleare Verfahren) eine sehr wichtige Rolle spielen werden. Hier wird mittelfristig der Einsatz von Fullerenen, PEG-Nanostrukturen, POSS-Nanostrukturen und Quantenpunkt-Nanopartikeln als „Tracer“, „Labels“ oder Kontrastmittel erwartet. Im gleichen Zeitrahmen sieht man die Nutzung von Silber-Nanopartikeln in optischen Anwendungen. Im langfristigen Zeitrahmen ist die Anwendung von Kern-Mantel-Nanopartikeln und Gold-basierten Nanopartikeln für bildgebende Diagnoseverfahren und Therapiemethoden zu erwarten.

#### *Kosmetik*

Eine große Zahl von Patenten zum Design und der Entwicklung von Nanomaterialien bezieht sich auf Anwendungen im Kosmetikbereich. Für folgende Produkte werden Nanomaterialien entwickelt oder bereits eingesetzt: Zahnpasten, Antipilz-Fußsprays, Hautcremes, Sonnenschutz, Parfum, Shampoos, Lippenstifte, Nagellacke usw. Zunächst kommen dabei Stoffe auf der Basis von Polymer-Matrix-Nanokompositen (mit aktiviertem Silber), PPY-Nanoröhren, Silikat-Nanopartikeln und -beschichtungen und Silbernanopartikeln zum Einsatz. Mittelfristig wird auch die Anwendung von pyrogener Kieselsäure, PMMA/PEO-Nanostrukturen und POSS-nanostrukturierten Katalysatoren erwartet. Eher langfristig sieht man mögliche Anwendungen für biologische Kompositmaterialien (Calcit-Nanokomposite) und selbstorganisierende Proteine.

#### *Medikamentenentwicklung*

Für die Entwicklung neuer Medikamente werden heute überwiegend Mikro-Array- und Protein-Chip-Technologien eingesetzt. Nanopartikel, vor allem auf der Basis von Edelmetallen, werden bei der fortschreitenden Miniaturisierung vom Mikro- zum Nano-Array eine immer wichtigere Rolle spielen. Mittelfristig wird neben Gold-, Silber oder Platin-Nanopartikeln mit dem Einsatz von Kern-Mantel-Nanopartikeln zur Erkennung von Zielproteinen gerechnet. Langfristig wird auch die Anwendung von Kompositpartikeln, bestehend aus einem DNA-Strang und einem anorganischen Nanopartikel (z.B. CNT, Polymer), oder POSS-Katalysatoren in diesem Bereich erwartet.

Weitere Anwendungsbereiche:

*Diagnosemethoden*

*Chirurgie*

*Gewebezüchtung*

*Nahrungsmittel*

*Genomforschung und Proteomik*

### **Nanomaterials in the Workplace**

**Autor:** RAND

**Projekt:** National Institute for Occupational Safety and Health

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 50 Seiten

**Datum:** 2006

**Prozess:** Fachworkshop

**Zeithorizont:** -

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien

Die Zusammenfassung des Workshops befasst sich mit den Gefahren, die durch den Einsatz von Nanomaterial am Arbeitsplatz entstehen können.

Nach einer Einführung zur Nanotechnologie wird die Notwendigkeit beschrieben, Gefahren rechtzeitig zu erkennen, vor allen Dingen im Hinblick auf unternehmerische Verantwortung und die Vermeidung von Fallstudien, wie beispielsweise Asbest, um das finanzielle Risiko zu minimieren und eine Rufschädigung der gesamten Nanotechnologie zu verhindern.

Zu diesem Zweck wurden anschließend Methoden zur Aufdeckung und Kontrollierung von Risiken dargestellt, beispielsweise Untersuchungen zur Toxizität, der Luftbelastung und Emission von Nanomaterialien.

**Polymerschäume - Perspektiven und Trends**

**Autoren:** Süddeutsches Kunststoff Zentrum (Hrsg.)

**Land/Region:** Deutschland

**Datum:** Februar 2007

**Prozess:** Fachtagung

**Zeithorizont:**

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere

Polymerschäume können mittlerweile aus einer breiten Palette von Kunststoffen, von Polyolefinen bis zu hochtemperaturbeständigen Thermoplasten, hergestellt werden. Durch die Wahl des Polymerwerkstoffs und des Schäumverfahrens können die Eigenschaften der Schaumstoffe konfiguriert und für ein breites Spektrum von Anwendungen maßgeschneidert werden.

Zur Beurteilung und auch zur Herstellung und Verarbeitung von Polymerschäumen gehört ein Grundverständnis bezüglich der vielfältigen Einflussparameter auf die Eigenschaften. Diese werden vom Raumgewicht, der Polymermatrix und der Schaummorphologie bestimmt. Bei der Auswahl für eine praktische Anwendung sind neben dem Preis das Wärmeisolationsvermögen, die Schallabsorption oder das Brandverhalten entscheidend. Die Vielzahl der am Markt befindlichen Schäume macht die richtige Wahl vielfach schwierig.

Die Fachtagung gab in dieser Hinsicht einen breiten Überblick über moderne Entwicklungen und aktuelle Anwendungen auf dem Schaumsektor. Vorgestellt wurden die Grundlagen der Schaumherstellung und der Rheologie des Schäumens. Verschiedene Schaumklassen wurden jeweils aus Hersteller- und Anwender- bzw. Verarbeitersicht vorgestellt. Miteinbezogen wurden neue Entwicklungen im Bereich Treibmittel und Sonderschäume.

Insgesamt wurden wesentliche Aspekte des Polymerschaumbereichs wie Planung, Prozessentwicklung, Forschung und Entwicklung, Produktion, Anwendungstechnik und Kundenbetreuung beleuchtet.

### **Road Maps for Nanotechnology in Energy**

**Autoren:** The Institute of Nanotechnology

**Projekt:** NanoRoadMap (NRM), FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 79 Seiten

**Datum:** September 2006

**Prozess:** Delphi-Expertenbefragung mit 60 Teilnehmern

**Zeithorizont:** 2005, 2009, 2014

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien

Dieses Dokument enthält vier Roadmaps zu den folgenden vier Technologien aus dem Energiesektor: Solarzellen, Thermoelektrizität, Akkumulatoren und Superkondensatoren sowie Wärmeisolierung und -leitung. Jedes dieser Kapitel wird mit einer Definition und einer kurzen Beschreibung des aktuellen Standes der Technologie eingeleitet. Dann folgt ein Abschnitt über die wissenschaftlichen und technologischen Aspekte mit einer kurzen Grundlagenbeschreibung, einer Darstellung der Besonderheiten von nanotechnologischen Materialien in diesem Bereich und einer Beschreibung der potentiellen Anwendungen. Der Entwicklungsstand der Anwendungen wird in drei Diagrammen für die Jahre 2005, 2009 und 2014 über den Skalenabschnitten „Grundlagenforschung“, „Angewandte Forschung“, „Erste Anwendungen“ und „Mainstream-Anwendungen“ dargestellt. Notwendige Technologieentwicklungen sind in einem Diagramm als Verbindungsknoten zwischen aktuellen Themen der Grundlagenforschung und angestrebten Marktanwendungen dargestellt. In fast allen Themenbereichen wird als Hauptthema die viel zu schwache Kopplung zwischen öffentlich geförderter, akademischer Forschung und industrieller Produktentwicklung genannt, wodurch das „Up-scaling“ von Fertigungsprozessen, weitere Kostensenkungen und somit der Markteintritt neuer Technologien erheblich erschwert werden.

#### *Solarzellen*

Die höchste Effizienz (und auch den größten Marktanteil) halten aktuell immer noch mono- und polykristalline Silizium-Solarzellen. Nur mit optimierten mehrschichtigen Zellen aus verschiedenen III-V-Halbleitermaterialien werden noch höhere Ausbeuten von bis zu 34% erreicht. Diese Technologien sind allerdings sehr aufwendig und teuer (kristallines Silizium wird auch als Rohstoff von der Halbleiterindustrie in immer größeren Mengen nachgefragt). Alle alternativen Ansätze und



neuen Materialien zielen daher auf ein besseres Verhältnis der Herstellungskosten zur erreichbaren Effizienz der Energieumwandlung ab. Eine große Herausforderung ist dabei auch die Erhöhung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer neuer Solarzellentypen. Alternative Technologien basieren auf dünnen amorphen Si-Schichten, elektrochemischen Farbstoff-solarzellen (Grätzel-Zelle), Polymerhalbleiter-Zellen, Quantenpunkten, Quantum wells sowie Kohlenstoffnanoröhren (CNTs) und Fullerenen. Nanotechnologie in der Photovoltaik befindet sich noch im Bereich der Grundlagenforschung und wird erst 2014 eine wesentliche Rolle auf dem Solarzellenmarkt spielen. Dünnschicht-Solarzellen werden dabei als vielversprechende Technologie mit der schnellsten Entwicklung bis 2014 gesehen, dicht gefolgt von farbstoff-basierten Solarzellen und solchen aus nanokristallinen Materialien. Für die anderen genannten Technologien wird keine Anwendungsreife vor 2014 erwartet.

#### *Thermoelektrizität*

In thermoelektrischen Generatoren wird unter Ausnutzung des Seebeck-Effekts ein Temperaturgradient in eine elektrische Spannung umgewandelt. Ein effizientes thermoelektrisches Material hat einen hohen Seebeck-Koeffizienten (auch Thermokraft genannt), eine hohe elektrische Leitfähigkeit und eine geringe thermische Leitfähigkeit (um einen möglichst hohen Temperaturgradienten aufrecht zu erhalten). Durch den Einsatz von dünnen Schichten, Nanodrähten oder Nanopartikeln kann die thermische Leitfähigkeit drastisch reduziert und die Thermokraft gleichzeitig erhöht werden. Die Kontrolle über die Dimensionalität solcher neuen Materialien wird als Schlüssel zum Erfolg dieser Technologie angesehen. Die Hauptaufgabe bis 2014 liegt in der Suche nach neuen Materialien (Dünne Schichten, Nanopartikel, nanokristalline Werkstoffe, Nanodrähte, „Superlattices“) mit besseren thermoelektrischen Eigenschaften. Während die Technologie im Jahr 2005 noch in der grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung steht, werden für 2009 erste Anwendungen und für 2014 auch Massen Anwendungen auf der Basis von Nanomaterialien erwartet.

#### *Akkumulatoren und Superkondensatoren*

Aufgrund der immer komplexeren Funktionalität tragbarer elektronischer Geräte müssen wiederaufladbare Spannungsquellen ständig steigende Anforderungen erfüllen. Die Leistungsfähigkeit aktueller Akku- und Kondensatorstechnologien ist vor allem durch die aktive Oberfläche begrenzt. Durch den Einsatz von Nanomaterialien, wie CNTs, Aerogele, Nanokomposite oder nanokristalline Materialien, werden eine Steigerung der Energie- und Leistungsdichte sowie eine Verbesserung der Auf- und Entladeraten erwartet. Die wichtigsten Entwicklungen werden im Bereich der Elektroden gesehen mit neuen Materialien, vergrößerter Oberfläche (z.B. durch Nanoporesität), dichtes Packen von Nanopartikeln sowie neue Beschichtungs- und Funktionalisierungstechnologien. Weitere Herausforderungen liegen im „Scaling-up“ von Laborprozessen, in der

Stabilität und Sicherheit neuer Materialien und in der Senkung der Fertigungskosten. Erste Anwendungen werden bereits für 2009 erwartet.

#### *Wärmeisolierung und -leitung*

Zur thermischen Isolierung werden zwei grundsätzlich verschiedene Methoden verfolgt, zum einen der Einsatz von porösen Werkstoffen und zum anderen Beschichtungen, die Wärmestrahlung reflektieren. Dem entsprechend sind die Nanomaterialien, die hierfür entwickelt werden, Aerogele oder andere Nanoschäume, Nanokomposite und dünne Schichten mit photochromen, thermochromen oder elektrochromen Eigenschaften. Die Entwicklung vom Grundlagenforschungsstadium in Marktanwendungen, wie superharte Materialien oder schaltbare Beschichtungen bei der Verglasung, wird bis 2014 erwartet. Im gleichen Zeitraum sieht man auch den breiten Einsatz von Nanoschäumen in der Isolierung von Gebäuden, Pipelines und Fahrzeugen. Für diese Anwendungen werden auch CNTs und Polymerkomposite als interessante Materialien genannt. Der Schwerpunkt liegt auf der Verbesserung der Eigenschaften und Herstellungsprozesse bereits bekannter Werkstoffe und weniger im Finden völlig neuer Materialien. Bei der Produktion von Nanoschäumen ist z.B. eine genaue Kontrolle über die Porengröße entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Materials. Für den Zeitraum 2009-2014 werden keine neuen Aufgaben im Bereich der Grundlagenforschung genannt. Von den zur Zeit in der Entwicklung befindlichen Technologien verspricht man sich offenbar sehr erfolgreiche Marktanwendungen.

### **Roadmap Report on Dendrimers**

**Autoren:** Juan Pérez, Laszlo Bax, Carles Escolano (Willems & van den Wildenberg, Spanien)

**Projekt:** NanoRoadMap (NRM), FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 37 Seiten

**Datum:** November 2005

**Prozess:** Delphi-Expertenbefragung mit 24 Teilnehmern

**Zeithorizont:** 2010, 2015

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien

Diese Roadmap liefert eine Übersicht über den aktuellen Stand der Entwicklung, Synthese und Anwendung von Dendrimern im Jahr 2005 sowie den zu erwartenden Entwicklungsstand und Einsatz solcher Materialien in verschiedenen Anwendungsfeldern in den Jahren 2010 und 2015.

Dendrimere werden als die vielseitigsten, in ihrer Zusammensetzung und Struktur kontrollierbar synthetisierten, nanoskaligen Einheiten angesehen. Sie zeichnen sich besonders durch ihre variabel funktionalisierbare



Oberfläche, ihre definierte Struktur, eine sehr gute Kontrolle über Größe und Form und Monodispersität aus. Weitere besondere Eigenschaften sind ihre Nutzbarkeit als molekulare Container und die hohe Biokompatibilität bzw. geringe Toxizität von zumindest einigen bekannten Dendrimern. In einigen Werkstoffanwendungen, z.B. als Additive in Kompositen, wo diese Vorteile nicht erforderlich sind, können sich Dendrimere aufgrund ihrer aufwendigen Herstellung nur schwer gegen einfachere Nanopartikel durchsetzen. Es gibt aber viele Anwendungen, in denen die besonderen Eigenschaften von Dendrimern von entscheidender Bedeutung sind.

Die Herstellung von Dendrimern erfolgt in mehrstufigen chemischen Verfahren, die in divergente und konvergente Synthesemethoden unterteilt werden. Die Hauptherausforderungen bei der Synthese liegen in der Entwicklung von Methoden zur Prozesskontrolle, Spezifikation und Analyse der Produkte, um wohl definierte und reproduzierbare Strukturen mit hohem Reinheitsgrad zu erreichen. Diese Hürden müssen aber für jeden neuen Typen von Dendrimern wieder neu überwunden werden, was eine generelle Vorhersage von technologischen Durchbrüchen diesbezüglich erschwert. Nach der Synthese können Dendrimere in einem weiteren Schritt, abhängig von der gewünschten Anwendung, funktionalisiert werden. Dies kann z.B. durch das Füllen der Hohlräume mit kleinen Molekülen, eine Modifikation des Dendrimerkerns oder Modifikationen der Oberfläche erfolgen. Die Durchführung dieses letzten Schrittes ist bei Dendrimern einfacher als bei anderen Nanopartikeln und ist in der Regel der Schlüssel zur optimalen Präparation eines Dendrimers für eine bestimmte Anwendung.

In der Roadmap werden 33 Anwendungsfelder für Dendrimere in den Bereichen Energie, Medizin/Gesundheit, Technik/Werkstoffe, Consumer-Produkte, Umwelt und Elektronik/Optoelektronik betrachtet. Die zeitliche Entwicklung dieser Felder ist in drei „Trichter“-Diagrammen für die Jahre 2005, 2010 und 2015 dargestellt. Der jeweilige Entwicklungsstand ist an den Achsenabschnitten „Grundlagenforschung“, „Angewandte Forschung“, „Erste Anwendungen“ und „Massenproduktion“ abzulesen. Im Jahr 2005 gibt es nur in wenigen Feldern kommerzielle Anwendungen (z.B. Farbstoffe, Klebstoffe, Tinten, Toner und Additive in Polymerkompositen). Viele Anwendungen, vor allem im medizinischen Bereich, aber auch in der Herstellung von Nanoschäumen und anderen nanostrukturierten Werkstoffen, sind noch in der Phase der grundlagenorientierten Forschung. Auch im Jahr 2010 erreichen nur wenige Anwendungen den Markt (z.B. MNR-Kontrastmittel, molekulare Gewichts- und Größenstandards, Sensoren und Detektoren). 2015 wird für die meisten betrachteten Anwendungen der Übergang von Angewandter Forschung und Entwicklung in erste Marktanwendungen erwartet. Das Stadium der Massenproduktion haben bis dahin nur wenige Anwendungen erreicht. Es ist aber auch damit zu rechnen, dass ein erheblicher Teil

der betrachteten Anwendungen nie die Marktreife erreichen wird, da sie sich nicht gegen konkurrierende Technologien durchsetzen können (z.B. OLEDs). Vor allem bei medizinischen Anwendungen kann der Markteintritt durch langwierige klinische Studien und Zulassungsverfahren erheblich verzögert werden.

Die Roadmap enthält auch eine Abschätzung des technologischen und ökonomischen Risikopotenzials der Anwendungsfelder in Relation zu ihrem relativen Marktwachstum im Zeitraum bis 2015. Für die meisten Anwendungen wird eine moderat bis stark wachsende Marktentwicklung erwartet, das Risikopotenzial erstreckt sich jedoch von sehr gering (Farbstoffe, Tinten, Kontrastmittel) bis sehr hoch (Multifunktionale medizinische Dendrimere, künstliche Antikörper, bedruckte Platinen, nanostrukturierte Werkstoffe und Nanodevices).

Für zwei vielseitig anwendbare Dendrimer-Typen, L-lysine-Dendrimere und PAMAM Dendrimere, wird die Entwicklung des Kilopreises und des weltweiten Produktionsvolumens bis 2015 abgeschätzt.

In einem weiteren Kapitel werden nicht-technologische Aspekte, wie Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltrisiken sowie Infrastrukturanforderungen, angesprochen.

Allgemein lässt sich sagen, dass die Material- und Consumer-orientierten Anwendungen in ihrer Kommerzialisierung zwar schon weiter vorangeschritten sind, aber auch starke Konkurrenz aus anderen Technologieansätzen fürchten müssen. Die medizinischen Anwendungen hingegen befinden sich noch in einer früheren Entwicklungsphase, haben aber ein deutlich höheres Potenzial, sich auf dem Markt durchzusetzen.

Ein großes Problem, speziell in Europa, ist die schwach ausgeprägte Zusammenarbeit zwischen öffentlicher, akademischer Forschung und industriellen Aktivitäten. Es wird besonders auf einen Mangel an KMUs und Start-Ups verwiesen, die in diesem Feld aktiv sind.

## Roadmap Report on Nanoparticles

**Autoren:** Juan Pérez, Laszlo Bax, Carles Escolano (Willems & van den Wildenberg, Spanien)

**Projekt:** NanoRoadMap (NRM), FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 57 Seiten

**Datum:** November 2005

**Prozess:** Delphi-Expertenbefragung mit 40 Teilnehmern

**Zeithorizont:** 2010, 2015

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien



Diese Roadmap liefert eine Übersicht über den aktuellen Stand der Entwicklung, Herstellung und Anwendung von Nanopartikeln und Nanokompositen im Jahr 2005 sowie den zu erwartenden Entwicklungsstand und Einsatz solcher Materialien in verschiedenen Anwendungsfeldern in den Jahren 2010 und 2015.

Nanopartikel können aus einer Vielzahl von Materialien hergestellt werden, von denen Metalloxid-Keramiken, Metalle, Silikate und Nichtoxid-Keramiken am häufigsten vorkommen. Verwandte Nanomaterialien, wie kugelförmige Fullerene, Dendrimere oder Quantenpunkte, werden in dieser Roadmap ausdrücklich nicht berücksichtigt. Die wichtigsten Besonderheiten von Nanopartikeln sind ihre mechanischen, chemischen, thermischen, elektrischen, optischen und magnetischen Eigenschaften sowie ihre große spezifische Oberfläche.

Die Herstellung und Verwertung von Nanopartikeln bzw. Nanokompositen wird durch eine vierstufige „Pipeline“ beschrieben, die folgende Schritte enthält: Produktion von Nanopartikeln, Funktionalisierung (z.B. Beschichtung oder chemische Modifikation), (evtl.) Integration in ein Nanoverbundmaterial und Marktanwendung. In realen Herstellungsprozessen können Schritte hinzugefügt werden, aber auch einzelne Stufen weggelassen oder kombiniert werden. So finden z.B. in Sol-Gel-Prozessen die Herstellung von Nanopartikeln und ihre Dispersion in einem Matrixmaterial gleichzeitig statt. Zu den wichtigsten Produktionsverfahren von Nanopartikeln, eingeteilt in Festkörpermethoden, Aufdampfungsmethoden sowie chemische Synthesemethoden in Lösung und in der Gasphase, werden die Hauptentwicklungs-hemmnisse kurz dargestellt. Auch für den oft notwendigen Zwischenschritt der Funktionalisierung werden die wichtigsten Hemmnisse beschrieben. Dabei wird auf verschiedene Beschichtungsverfahren und chemische Modifikationen eingegangen. Bei der Integration von Nanopartikeln in Nanokomposite (oft durch Mischen in einer Schmelze) liegen die Hauptprobleme im Finden einer für die Verbindung mit dem Matrixmaterial geeigneten Modifikation der Partikel und in der Unterdrückung der Agglomeration der Partikel untereinander. Bei vielen Anwendungen ist der relativ hohe Preis für aufwendig hergestellte Nanopartikel oder Nanoverbundwerkstoffe der Hauptgrund dafür, dass sich diese Materialien gegen herkömmliche Werkstoffe (noch) nicht durchsetzen können.

Die zeitliche Entwicklung von bereits existierenden und potenziellen Anwendungen von Nanopartikeln wird in drei „Trichter“-Diagrammen für die Jahre 2005, 2010 und 2015 dargestellt. Insgesamt werden 68 Anwendungen bzw. Anwendungsbereiche genannt, eingeteilt in die Domänen Energie, Gesundheit/Medizin, Technik/Konstruktion/-Maschinenbau, Consumer-Produkte, Umwelttechnik und Elektronik. In den Diagrammen sind die verschiedenen Anwendungen ihrem Entwicklungsstand entsprechend über den Skalenabschnitten „Grundlagenforschung“, „Angewandte Forschung“, „Erste Anwendungen“ und „Massenproduktion“ aufgetra-

gen. Danach haben im Jahr 2005 nur wenige Anwendungen, wie z.B. antibakterielle Materialien zur Wundversorgung oder Gummikomposite, den Massenmarkt erreicht. Viele Einsatzbereiche für Nanopartikel, wie z.B. Katalysatoren, Zahnersatz, Schneidwerkzeuge, Tinten, Nanokompositkunststoffe, Verpackungen oder Glasbeschichtungen, befinden sich aber schon im Stadium erster Anwendungen. Nur wenige Anwendungen, wie die Wasserstoffspeicherung oder chemische Sensoren, liegen noch im Bereich der Grundlagenforschung. Im Jahr 2010 dringen zahlreiche Anwendungen in den Bereich der Massenproduktion vor, und 2015 haben praktisch alle Anwendungsbereiche den Massenmarkt oder zumindest das Stadium erster Produktanwendungen erreicht. Es werden auch einige Zukunftsideen genannt, die in der Phase 2010 bis 2015 und darüber hinaus noch grundlagenorientiert erforscht werden müssen, wie z.B. die Herstellung von kleinen Nanopartikeln mit atomarer Präzision, das selbstorganisierte Wachstum von hybriden anorganischen / organischen Nanopartikeln oder das computerunterstützte Design von neuen Werkstoffen durch das Zusammensetzen von bekannten Nanokompositen.

Die Roadmap enthält auch eine Abschätzung des technologischen und ökonomischen Risikopotenzials der Anwendungsfelder in Relation zu ihrem relativen Marktwachstum bis 2015. Demnach wird z.B. der Wasserstoffspeicherung oder der Anwendung von Pigmenten auf Nanopartikelbasis das höchste Risikopotenzial zugesprochen; aber auch sehr hohe Marktchancen, falls sich diese Technologien erfolgreich durchsetzen. Bei Anwendungen in Schneidwerkzeugen, Autokatalysatoren oder Gummikompositen ist sowohl das Risiko als auch das erwartete Marktwachstum gering. Für einen Großteil der betrachteten Anwendungen werden große Marktchancen bei geringem bis mäßigem Risikopotenzial vorhergesagt.

In einem weiteren Abschnitt wird für Montmorillonit-beschichtete Silikatpartikel die Preisentwicklung bis zum Jahr 2015 abgeschätzt. Für Silber-Nanopartikel und Partikel aus Metalloxid-Keramiken wird die erwartete Entwicklung des Preises und des weltweiten Produktionsvolumens bis 2010 dargestellt.

Auch nicht-technologische Aspekte, wie Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltrisiken, Infrastrukturanforderungen und Fragen zum Patentrecht, werden angesprochen. Demnach wird das größte Risikopotenzial für Mensch und Umwelt während der Herstellung von Nanopartikeln bzw. der Einbringung in Verbundmaterialien gesehen.

In der Zusammenfassung werden noch einmal die wichtigsten Chancen und Hemmnisse für die verschiedenen Anwendungsdomänen dargestellt. Generell sind bei der Massenherstellung von Nanopartikeln und darauf basierenden Massennanokompositwerkstoffen eher die Kosten problematisch, während es z.B. bei Beschichtungen eher technische Hemmnisse bei der kontrollierten Erzeugung von wohl definierten Nanostrukturen gibt. Es werden verschiedene Empfehlungen gegeben, insbesondere zur Umsetzung von Neuentwicklungen in Produkte und zum „Up-scaling“

von Prozessen für die Massenproduktion, damit Werkstoffe, basierend auf Nanopartikeln, auch die Märkte erreichen.



### **Roadmap Report on Nanoporous Materials**

**Autoren:** Carles Escolano, Juan Pérez, Laszlo Bax (Willems & van den Wildenberg, Spanien)

**Projekt:** NanoRoadMap (NRM), FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 52 Seiten

**Datum:** November 2005

**Prozess:** Delphi-Expertenbefragung mit 16 Teilnehmern

**Zeithorizont:** 2010, 2015

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien

Diese Roadmap liefert eine Übersicht über den aktuellen Stand der Entwicklung, Herstellung und Anwendung nanoporöser Materialien im Jahr 2005 sowie den zu erwartenden Entwicklungsstand und Einsatz solcher Materialien in verschiedenen Anwendungsfeldern in den Jahren 2010 und 2015.

Nanoporöse Materialien sind dreidimensionale Werkstoffe oder Membrane mit offenen (d.h. miteinander verbundenen) oder geschlossenen Poren, deren Durchmesser kleiner als 100 nm sind. In der Regel werden durch die poröse Struktur bestimmte physikochemische Eigenschaften oder die biochemische Funktionalität des Ausgangsmaterials verstärkt oder unterdrückt. In manchen Anwendungsbereichen (z.B. Siebe, thermische Isolation) ist aber auch nur die Porosität an sich relevant. Die wichtigsten Eigenschaften nanoporöser Materialien sind ihre erhöhte spezifische Oberfläche, ihre Adsorptionsfähigkeit, ihre Siebeigenschaften, ihr reduziertes Gewicht und die Möglichkeit, sie als photonische Kristalle zu nutzen.

Die Herstellung nanoporöser Materialien wird anhand einer vierstufigen „Pipeline“ beschrieben, die sich aus den folgenden Einzelschritten zusammensetzt: Templat-Präparation, Synthese, Funktionalisierung und Marktanwendung. In realen Herstellungsprozessen können zusätzliche Schritte integriert werden, aber auch einzelne Teilschritte kombiniert oder ausgelassen werden. Der Schwerpunkt der Roadmap liegt auf den ersten drei Stufen dieser „Pipeline“. Zu den genannten Herstellungsschritten werden die wichtigsten Methoden kurz beschrieben sowie die größten Hemmnisse, die den Erfolg dieser Technologien behindern, und mögliche Wege, die die Forschung gehen könnte, um diese Hemmnisse zu überwinden, dargestellt.

Als „Bottlenecks“ in der Entwicklung nanoporöser Materialien werden folgende Punkte identifiziert: Kontrolle über die Porengröße, -form und Einheitlichkeit; Kontrolle über die Dimension und Periodizität der Materialstruktur; Funktionalisierung der Poren; Grundlegendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen Struktur und Eigenschaften; Verfügbarkeit passender Rohmaterialien (betrifft vor allem Template); Diffusion von Precursor-Stoffen und Recycling; Mangelndes Wissen über industrielle Anforderungen; Mangelhafte Ausstattung für eine aussagekräftige, schnelle Charakterisierung der Materialien; Mangel an zuverlässigen Software-Tools zur Modellierung und Simulation nanoporöser Materialien. Die Existenz dieser Problemfelder wird als Indiz dafür gewertet, dass viele potenzielle Anwendungen von nanoporösen Materialien noch deutlich hinter der Entwicklung anderer Nanomaterialien zurückliegen.

Die zentralen Ergebnisse der Roadmap sind in drei „Trichter“-Diagrammen dargestellt, die die Entwicklungsstufen verschiedener Anwendungen nanoporöser Materialien in den Jahren 2005, 2010 und 2015 zeigen. Als Skalenabschnitte für die Entwicklung dienen „Grundlagenforschung“, „Angewandte Forschung“, „Erste Anwendungen“ und „Massenproduktion“. Bei der Darstellung des Ist-Zustandes im Jahr 2005 werden nur Anwendungen im Bereich der Katalyse und Elektroden als marktreif eingestuft. In den Bereichen Thermische Isolierungen und Membrane gibt es erste Anwendungen, während sich die Anwendungsfelder Papierbeschichtungen, gezielte Wirkstofffreisetzung in der Medizin, Photonische Kristalle, Gas-speicherung, Bioimplantate, Einzelmolekülanalyse und Sensoren noch im Stadium der grundlagen- oder anwendungsorientierten Forschung befinden. Für das Jahr 2010 werden erste Anwendungen in den Bereichen Papierbeschichtungen, Wirkstofffreisetzung und Sensoren vorausgesagt. Im Jahr 2015 sieht man Anwendungen in den Bereichen Papierbeschichtung, Thermische Isolierungen, Membrane und Wirkstofffreisetzung als reif für die Massenproduktion. Die meisten neuen Anwendungen werden für Membrane, Elektroden und Sensoren erwartet, die vor allem von einer besseren Kontrolle über die Poreneigenschaften profitieren werden. Wichtigster und größter Anwendungsbereich bleibt weiterhin die Katalyse, vor allem im Zusammenhang mit der Herstellung neuartiger Kraftstoffe oder der Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser. Alle übrigen genannten Anwendungsbereiche befinden sich dann im Übergangsstadium von Angewandter Forschung zu ersten Anwendungen.

Die Roadmap enthält auch eine Abschätzung des technologischen und ökonomischen Risikopotenzials der Anwendungsfelder in Relation zu ihrem relativen Wachstumspotenzial im Zeitraum bis 2015. Gasspeicheranwendungen wird dabei, aufgrund der intensiven Erforschung von Konkurrenztechnologien in diesem Bereich, das höchste Risikopotenzial zugesprochen, aber auch ein großes Marktwachstum, vor allem im Hinblick auf Wasserstoff als möglichen Energieträger der Zukunft. Einzelmole-

külanalysen und Bioimplantate tragen ebenfalls ein hohes Risiko, haben aber eine geringere Marktrelevanz in dem betrachteten Zeitraum. Photonische Kristalle, Elektroden und Membrane sind Anwendungsfelder mit relativ geringem Risiko und hohem Marktpotenzial.

In einem weiteren Kapitel werden auch nicht-technologische Themen, wie rechtliche Fragen (einschließlich Aspekten des Patentsystems), Infrastrukturanforderungen und instrumentelle Ausstattung sowie Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltaspekte kurz angesprochen.

Zusammenfassend wird für nanoporöse Materialien noch ein erhöhter Bedarf an Grundlagenforschung im Vergleich zu vielen anderen Nanomaterialien gesehen. In den großtechnischen Anwendungsbereichen, wie Katalyse und Membrane, sollte die Entwicklung auch weiter von der Großindustrie getragen werden, da hier eine Anpassung an die bestehenden Prozesse bei der Implementierung erforderlich ist. Bei der Weiterentwicklung von Elektroden und Sensoren aus nanoporösen Materialien, aber auch in den medizinischen Anwendungsfeldern, könnten auch High-tech-KMUs eine wesentliche Rolle spielen.

### **Science and Technology Foresight Survey Delphi Analysis**

**Autor:** Science and Technology Foresight Center, National Institute of Science and Technology Policy

**Land/Region:** Japan

**Umfang:** 626 Seiten

**Datum:** Mai 2005

**Prozess:** Delphianalyse, Publikationsanalyse, Szenarienanalyse

**Zeithorizont:** 2035

**Werkstoffklasse:** Werkstoffe allgemein

Ziel der Studie ist die Ausarbeitung von Schwerpunkten aus den Bereichen Forschung und Entwicklung in Japan, um den Anforderungen einer effizienten Budgetverteilung durch eine rationale Bewertung gerecht zu werden.

Die Studie setzt dabei genau im anwendungsorientierten Bereich von Technologien an, der zwischen Grundlagenforschung und dem effektiven Einfluss einer Technologie auf die Gesellschaft liegt. Anders als bei der Untersuchung besonders stark frequentierter Forschungsbereiche (z. B. durch Zitationsanalysen) gründet sich die Studie nicht nur auf objektive Fakten, sondern zieht auch mögliche Szenarien in Betracht.

Zunächst werden allgemeine Ergebnisse vorgestellt, bevor im Anschluss daran auf die Ergebnisse der einzelnen Themenbereiche eingegangen wird. Zu ersteren gehören Untersuchungen zu den besonders früh (2005-2008) bzw. besonders spät (2030-2036) zu erwartenden Innovationen und

besonders schnell bzw. besonders langwierig zu entwickelnden Innovationen. Auch der Einfluss der Regierung, der Forschungsstand (Japans) und die Auswirkungen auf bestimmte Aspekte der Gesellschaft (beispielsweise sozialer oder ökonomischer Natur) einzelner Themenbereiche werden in diesem Kapitel untersucht.

Die darauf folgende Untersuchung von insgesamt 13 Themenbereichen, wie Elektronik, Nanotechnologie oder Fertigungstechnik, gibt zunächst einen allgemeinen Überblick über die jeweiligen Themenbereiche und deren Akzeptanz und Verbreitung in Japan.

Anschließend werden Einfluss und Forschungsstand des Themenbereiches im Detail analysiert und Roadmaps und Förderungsempfehlungen für allgemeine Technologiezweige und spezielle Innovationen vorgelegt.

Im Bereich der Nanotechnologie und Materialwissenschaften gehört hierzu die Unterstützung kleiner und mittelständischer Unternehmen. Grundlagenforschung wird aufgrund der zu erwartenden Effektivität ebenso empfohlen, wie die Entwicklung konkreter Anwendungen, die im Zusammenhang mit der Technologie stehen.

### **SMART - Materials for a Better Life**

**Autoren:** European SMART Consortium (PtJ, CEA, IOM3, SAS, Fraunhofer-INT)

**Projekt:** SMART Specific Support Action, FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 46 Seiten

**Datum:** März 2007

**Prozess:** Workshop mit 28 Experten (Prozess noch nicht abgeschlossen)

**Zeithorizont:** <5, 5-10, >10 Jahre

**Werkstoffklasse:** Polymere, Naturstoffe, Nanomaterialien, Smart Materials

Diese Roadmap beinhaltet Einschätzungen zum aktuellen Stand und zukünftigen Entwicklungen, Innovationshemmnisse und mögliche Lösungsansätze sowie Handlungsempfehlungen zu den Bereichen Biomaterialien, Verpackungen und Technische Textilien. Für jedes dieser Themen wird in einem Roadmap-Diagramm der erwartete Markteintritt der als relevant identifizierten Technologien auf einer Zeitachse mit den Abschnitten kurzfristig (<5 Jahre), mittelfristig (5-10 Jahre) und langfristig (>10 Jahre) dargestellt.

#### *Biomaterialien*

Der Einsatz von verschiedenen Kunststoffen in der Medizintechnik steigt kontinuierlich. Dabei werden Polymere mit verbesserten optischen, che-



mischen und mechanischen Eigenschaften ständig weiterentwickelt und können so in verschiedenen Anwendungen bisherige Werkstoffe, wie z. B. Glas oder Titan, ersetzen.

Ein besonders großes Potenzial wird in der Entwicklung von biomimetischen Strukturen gesehen, wobei momentan die Komplexität der natürlichen Vorbilder oft noch nicht ausreichend verstanden wird.

Das Roadmap-Diagramm ist in die Bereiche „Smart products“ und Technologien aufgeteilt. Zu dem ersten Themenkomplex werden kurzfristig Entwicklungen bei antimikrobiellen Oberflächen und intelligenten Operationsinstrumenten erwartet. Mittelfristig sieht man Fortschritte bei der Verbesserung bisheriger Materialien für Implantate sowie beim Einsatz von selbstheilenden und selbstdiagnostischen Materialien. Eher langfristig wird mit Marktanwendungen bei der kontrollierten, selbstgesteuerten Wirkstofffreisetzung, Neurosensor-Prothesen und biomimetischen Ansätzen gerechnet. Bei den Technologien werden mittel- bis langfristig Entwicklungen bei der Verbesserung der Biokompatibilität von Oberflächen erwartet, bei Einflüssen der Nanotechnologie auf Biomaterialien, bei selbstständigen Diagnosegeräten und bei der Entwicklung und Verbesserung von bio-resorbierbaren und bioaktiven Materialien.

#### *Verpackungen*

Die Verpackungsindustrie steht vor den Herausforderungen, dass es zu viele identische Produkte gibt, dass Beschriftungen oft nicht gut lesbar oder verständlich sind und dass Verpackungen oft nicht gut zu öffnen sind. Ein wesentliches Ziel ist aber auch das Erreichen der „Zero waste“-Gesellschaft in einem Zeitraum von etwa 5 Jahren durch eine Reduzierung des Erstverbrauchs von Verpackungsmaterial und verbessertes Recycling. Mittelfristig werden auch Entwicklungen bei Nischenprodukten mit hohen Gewinnspannen und intelligenten Sicherheits- bzw. Logistik-Technologien wie „track and trace“ erwartet. Eher langfristig sieht man Einflüsse aus der Nanotechnologie auf Beschichtungen und Gewichtsreduzierung bei Verpackungen. Ebenfalls langfristig wird der Einsatz von Dünnschicht- und Oberflächentechnologien, neuen Klebstoffen und intelligenten Werkstoffen gesehen.

#### *Technische Textilien*

Bei den technischen Textilien werden durch den Einsatz neuer Materialien und Technologien eine Reihe von Verbesserungen der Eigenschaften und auch neue Anwendungsmöglichkeiten gesehen. So werden kurz- bis mittelfristig die Entwicklung von Nischenprodukten mit hohen Gewinnmargen, aber auch Verbesserungen der anti-allergischen und antimikrobiellen Eigenschaften sowie der Reinigungseigenschaften von Textilien oder Anwendungen mit thermischer Speicherfunktion erwartet. Dabei kommen neue Materialien und Gemische aus Biofasern, leitenden Fasern, Polymeren, Nanomaterialien und regenerierter Wolle zum Einsatz. Eher langfristig wird mit der Integration von Elektronik sowie Tex-

tilanwendungen im Nanotech- und Biotech-Bereich bzw. bei Aktuatoren und flexiblen Schaltkreisen gerechnet.

Es wird besonders auf die mögliche Übertragbarkeit von militärischen Entwicklungen auf andere Anwendungsbereiche hingewiesen.

### **SMART - Materials for a Safe Europe**

**Autoren:** European SMART Consortium (PtJ, CEA, IOM3, SAS, Fraunhofer-INT)

**Projekt:** SMART Specific Support Action, FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 38 Seiten

**Datum:** März 2007

**Prozess:** Workshop mit 28 Experten (Prozess noch nicht abgeschlossen)

**Zeithorizont:** <5, 5-10, >10 Jahre

**Werkstoffklasse:** Polymere, Verbundwerkstoffe, Nanomaterialien, Glas, Metalle

Diese Roadmap beinhaltet Einschätzungen zum aktuellen Stand und zukünftigen Entwicklungen, Innovationshemmnissen und möglichen Lösungsansätzen sowie Handlungsempfehlungen zu neuen Technologien im Bereich der zivilen Sicherheit. Die Entwicklung und der Einsatz neuer Werkstoffe ist dabei nur ein Aspekt neben anderen. Ausgehend von einzelnen Anwendungen werden dabei verschiedene Werkstoffklassen angesprochen. In einem Roadmap-Diagramm wird der erwartete Markteintritt der als relevant identifizierten Technologien auf einer Zeitachse mit den Abschnitten kurzfristig (<5 Jahre), mittelfristig (5-10 Jahre) und langfristig (>10 Jahre) dargestellt.

Als Hauptstrategie wird nicht die Entwicklung völlig neuer Werkstoffe angesehen, sondern die Modifikation und Kombination von bekannten Materialien. Für den mechanischen Schutz von Personen, Gebäuden oder Fahrzeugen spielen unter anderem die Verwendung von nanostrukturierter Keramiken sowie neue Kombinationen von Metallen, Hightech-Fasern und Elastomeren eine große Rolle. Es wird aber auch darauf hingewiesen, dass konventionelle Werkstoffe wie Stahl weiterhin wichtig sind und nicht vernachlässigt werden sollten. Ein weiterer wichtiger Bereich ist die Entwicklung neuer Sensoren für die Detektion von Kampf- und Sprengstoffen, aber auch für biometrische Anwendungen.

Für die Bereiche Sensoren, Materialien/Technologien, Schutzkleidung und gesellschaftliche Aspekte werden Entwicklungshemmnisse und mögliche Lösungsansätze diskutiert. Allgemein wird von der Nanotechnologie in praktisch allen sicherheitstechnischen Bereichen ein erheblicher Entwicklungsschub erwartet. Aber auch das Kopieren von Vorbildern aus



der Natur, biologische Sensoren, Lab-on-a-chip-Technologien und „smart devices“ werden als wichtige Konzepte genannt.

Das Roadmap-Diagramm stellt die Entwicklung von 24 Anwendungen aus folgenden Bereichen dar: Alarmsysteme für Personen und Gebäude, Schutzkleidung, Nonstop-Sicherheitskontrollen, biometrische Identifikation, Fälschungssicherheit, forensische Medizin und themenübergreifende Aspekte. Es fällt auf, dass für alle dargestellten Anwendungen ein Markteintritt erst im mittel- bis langfristigen Zeitrahmen erwartet wird.



### **SMART - Materials powering Europe**

**Autoren:** European SMART Consortium (PtJ, CEA, IOM3, SAS, Fraunhofer-INT)

**Projekt:** SMART Specific Support Action, FP6

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 37 Seiten

**Datum:** März 2007

**Prozess:** Workshop mit 32 Experten (Prozess noch nicht abgeschlossen)

**Zeithorizont:** <5, 5-10, >10 Jahre

**Werkstoffklasse:** Polymere, Verbundwerkstoffe, Nanomaterialien, Legierungen

Diese Roadmap beinhaltet aktuelle Trends, zukünftige Entwicklungen, Innovationshemmnisse und mögliche Lösungsansätze sowie Handlungsempfehlungen zu Technologien in den Bereichen „Werkstoffe für Energieeffizienz“ und „Werkstoffe für nachhaltige Energietechnologien“. Ausgehend von den Anwendungen werden dabei verschiedene Werkstoffklassen angesprochen. In einem Roadmap-Diagramm wird der erwartete Markteintritt der als relevant identifizierten Technologien auf einer Zeitachse mit den Abschnitten kurzfristig (<5 Jahre), mittelfristig (5-10 Jahre) und langfristig (>10 Jahre) dargestellt.

#### *Werkstoffe für Energieeffizienz*

Neue Werkstoffe mit verbesserten Eigenschaften zur Effizienzsteigerung werden in der konventionellen Energieerzeugung für Gasturbinen und Betriebskessel benötigt, aber auch für innovative Technologien, wie den Einfang von CO<sub>2</sub> und die Entwicklung von Brennstoffzellen. Im Bereich Gasturbinen werden Hochtemperaturkeramiken, Hochtemperaturlegierungen, verstärkte Aluminide und bessere Beschichtungstechnologien angesprochen. Für Betriebskessel werden Stähle für Temperaturen über 700°C bei 350bar diskutiert. Für die CO<sub>2</sub>-Einfangtechnologie sind Membrane und nanoporöse Materialien relevant. Entwicklungsbarrieren werden in den Bereichen Beschichtungen, Speicherung, Wärmerückgewinnung und Modellierung, aber auch in man-

gelder Infrastruktur und Grundlagenwissen sowie in Umweltaspekten gesehen.

#### *Werkstoffe für nachhaltige Energietechnologien*

Neben den gängigen erneuerbaren Energietechnologien (Windkraft, Tiden- und Wellenkraftwerke, Wasserkraftwerke, Müllverbrennung, Biomasse und Photovoltaik) werden auch Aspekte einer Wasserstoffenergiewirtschaft angesprochen. Hier wird als wesentliches Ziel das Verstehen der atomaren und molekularen Prozesse an der Grenzfläche zwischen Wasserstoff und den Materialien gesehen, die für Membranen, Katalysatoren, Brennstoffzellen und Speicher genutzt werden. Dabei spielen vor allem nanostrukturierte Materialien eine große Rolle. Für einen echten Fortschritt in der Wasserstofftechnologie sind revolutionäre Durchbrüche erforderlich, eine rein „evolutionäre“ Entwicklung reicht hier nicht aus. Bei den Anforderungen an Werkstoffe für die verschiedenen alternativen Energietechnologien wird praktisch immer die Korrosionsbeständigkeit genannt. Für die Windkraft sind verstärkte Komposite von großer Bedeutung, während in den Verbrennungstechnologien hitzebeständige Legierungen gefragt sind. Fortschritte in Technologien wie, Beschichtungen und Fügeverfahren, sind ebenfalls relevant. Entwicklungshemmnisse werden in den technologischen Bereichen Kosteneffizienz, Speicherung/Transport und extreme Umgebungsbedingungen (sehr hohe Temperaturen), aber auch in Aspekten wie Forschungsförderung, Wissensmanagement und rechtliche Vorschriften gesehen.

Allgemein gilt, dass Werkstoffaspekte bei der Einführung einer neuen alternativen Energietechnologie zunächst nicht entscheidend sind. Erst für die wirtschaftliche Nutzung und die Durchsetzung am Markt ist die Entwicklung von Werkstoffen zur Effizienzsteigerung, Kostenreduzierung und Steigerung der Betriebslebensdauer von großer Bedeutung.

#### *Roadmap*

Im Bereich der konventionellen Energieerzeugung werden wesentliche Entwicklungen bei hochtemperaturbeständigen Legierungen und Beschichtungen (bis 2000°C) in den kommenden 10 Jahren erwartet. Langfristig werden hier auch faserverstärkte Keramiken als Werkstoffe interessant.

Zur Steigerung der Energieeffizienz werden kurzfristig Entwicklungen bei Kompositen, mittelfristig jedoch vor allem bei Nanokompositen für den Leichtbau und Nanobeschichtungen für höhere Prozesstemperaturen und verbesserte Reibungseigenschaften erwartet. Mittel- bis langfristig sieht man Innovationen bei „smarten“ Leichtbauwerkstoffen und neuen Keramiken für Turbinen.

Für die Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie werden neue Metallkomposite und Nanomaterialien für Katalysatoren und Membrane in den nächsten 10 Jahren erwartet. Im gleichen Zeitraum sieht man auch

Fortschritte bei Membranen für die Gasseparation (z.B. Sauerstoff, Kohlendioxid).

In der Photovoltaik werden kurzfristig Fortschritte in der mono- und polykristallinen Siliziumtechnologie und mittelfristig bei amorphem Silizium erwartet. Ein Durchbruch bei den Dünnschichtmaterialien ist nicht früher als in 5 Jahren zu erwarten. Mittel- bis langfristig sieht man Fortschritte bei Solarzellen auf der Basis von Bandgap-Materialien und sogenannten Grätzel-Zellen.

Bei Beschichtungen sind kurzfristig Entwicklungen für Sensoranwendungen zu erwarten, mittel- bis langfristig auch selbstdiagnostische Beschichtungen.

Für den gesamten betrachteten Zeitraum erwartet man wichtige Beiträge aus dem Bereich der Modellierung und Simulation sowie bei der Abschätzung der Lebensdauer eingesetzter Werkstoffe.



### **Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in mittelständischen Unternehmen**

**Autoren:** R. Baron, K. Alberti, J. Gerber (Arthur D. Little GmbH), E. Jochem, H. Bradke, . Dreher, V. Ott (Fraunhofer-ISI), K. Kristof, C. Liedtke, J. Acosta, R. Bleischwitz, S. Bringezu, T. Busch, M. Kuhnt, T. Lemken, M. Ritthoff, J. Rosnow, N. Supersberger, A. Villar (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie)

**Land/Region:** Deutschland

**Umfang:** 109 Seiten

**Datum:** 2005

**Prozess:** Literatur- und Internetrecherchen, Branchenstudien, Experteninterviews

**Zeithorizont:** etwa 2015

**Werkstoffklasse:** Materialien allgemein

Die Studie schätzt das Potenzial eines effizienten Umgangs und Einsatzes von Materialien in Industrie und verarbeitendem Gewerbe ab. Die Bruttoproduktionskosten im verarbeitenden Gewerbe enthalten neben den Personalkosten die Kostenblöcke Material und Energie, Abschreibungen und Mieten sowie sonstige Kosten. Etwa 25 % der Kosten sind im Durchschnitt Personalkosten. Der größte Kostenfaktor im Verarbeitenden Gewerbe ist jedoch der Kostenblock Material mit durchschnittlich 40 % der Bruttoproduktionskosten. Im Kostenblock Material können oft erhebliche Effizienzsteigerungsmöglichkeiten realisiert werden. Analysiert werden neun Branchen, die von der Herstellung von Metallerzeugnissen, Kunststoffwaren, Papiererzeugnissen etc. über die chemische Industrie, Medizin-, Mess-, Steuer und Regelungstechnik, Optik bis zum Baugewerbe.

werbe reichen sowie acht Querschnittstechnologien (Optoelektronik, Oberflächentechnologien, Tribologie, Werkstoffsubstitution, Leichtbau etc). Ansatzpunkte für Steigerung der Materialeffizienz sind:

- Minderung von Material- und Ressourcenverlusten durch Verbesserung bzw. Vergleichmäßigung der Qualität (Verminderung von Ausschuss),
- Optimierung der Produktionsprozesse, z.B. durch die Reduzierung von Verschnitt
- Optimierung der Konstruktion, ressourcenschonendes Produktdesign (z. B. Leichtbau, leichtere Produkte)
- verstärktes Werkstoffrecycling
- bessere Auslastung von Geräten, Anlagen und Spezialmaschinen
- wertschöpfungskettenübergreifende Optimierungen.

Optimierungsmaßnahmen in diesen Bereichen ermöglichen Kosteneinsparungen, die zum Teil im zweistelligen Prozentbereich der Gesamtkosten liegen.

Insgesamt ergibt sich für die Materialeffizienzpotenziale der untersuchten neun Branchen eine Summe von 6,4 Mrd. €a bis 13,1 Mrd. €a, wobei der Minimalwert durch „autonomen“, d. h. ungeforderten materialtechnischen Fortschritt sowie verbesserte Kenntnisse und Organisationsformen erreicht wird. Dies entspricht einer Verbesserung der Materialeffizienz von knapp 5 % aus autonomen materialtechnischen Entwicklungen innerhalb der nächsten 7 bis 10 Jahre, d. h. etwa 0,7 % pro Jahr. Die Differenz zwischen dem unteren und oberen Wert (also 6,7 Mrd. €a) ist das Effizienzpotenzial, das durch ein gezieltes Materialeffizienz-Programm der öffentlichen Hand und der Wirtschaft innerhalb der kommenden 7 bis 10 Jahre für die untersuchten Branchen erschlossen werden könnte. Dies entspricht zusätzlichen 5 % in der betrachteten Zeitperiode.

Die größten Materialeffizienzpotenziale erreichen konsequenterweise die Branchen mit den höchsten Materialeinsätzen (Metallerzeugnisse, Herstellung von Anlagen zur Elektrizitätserzeugung, die Chemische Industrie ohne Grundstoffchemie und die Kunststoffverarbeitende Industrie). Hier können im geförderten Fall jeweils Potenziale oberhalb von 1 Mrd €a realisiert werden.

**Technology Foresight on Danish Nanoscience and Nanotechnology Action Plan****Autor:** Ministry of Science, Technology and Innovation**Land/Region:** Dänemark**Umfang:** 50 Seiten**Datum:** Dezember 2004**Prozess:** Roadmap**Zeithorizont:** 2020**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien, Biokompatible Materialien

Die Studie liefert eine Roadmap, mit der Dänemark bis 2020 zu einem der weltweit führenden Länder werden soll, was den Einsatz der Nanotechnologie in bestimmten Bereichen betrifft.

Um dieses Ziel zu erreichen werden zunächst allgemeine Handlungsempfehlungen (Erhöhung des Forschungsetats für die Nanotechnologie, Koordination der Forschung durch das Ministerium etc.) gegeben, bevor dann technologische Teilbereiche mit besonderer Bedeutung herausgearbeitet werden. Zu den sieben für Dänemark besonders vielversprechenden Forschungsthemen gehören nach Auffassung der Autoren auch Nanomaterialien mit neuartigen Eigenschaften und biokompatible Materialien.

Biokompatible Materialien versprechen aufgrund ihrer Akzeptanz bei Zellen und Organismen bessere Transplantationstechnologien, Implantate und medizinische Untersuchungswerkzeuge.

Das Feld der Nanomaterialien setzt sich im Wesentlichen aus nanokristallinen Materialien, Kompositen und nanoporösen Materialien zusammen, aber auch die Modifikation von Oberflächen zur Erlangung neuer Funktionen (beispielsweise bei Lackierungen) fällt in diesen Bereich.

Schließlich werden von der Studie erneut allgemeine Handlungsempfehlungen gegeben, wie beispielsweise die Errichtung von Nanotechnologie-Zentren oder die Erhöhung der Absolventenzahlen in den relevanten Bereichen.

**Technology Roadmap for Composites in the Aerospace Industry****Autoren:** National Composites Network (ncn), DTI**Projekt:****Land/Region:** Großbritannien**Umfang:** 31 Seiten**Datum:** Juni 2006**Prozess:** Workshop mit 15 Experten**Zeithorizont:** k. A.**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe

Diese Roadmap enthält Einschätzungen zur aktuellen Lage, zukünftigen Entwicklungen, Innovationshemmnissen und Lösungsmöglichkeiten sowie Handlungsempfehlungen im Bereich der Metallmatrix-Verbundwerkstoffe für die Luft- und Raumfahrtindustrie. Das Dokument enthält keine Angaben oder Diagramme zu den Zeitspannen, in denen die beschriebenen Entwicklungen erwartet werden.

In der Analyse der aktuellen Situation werden u. a. folgende Trends und „Technology drivers“ für den Einsatz von Verbundwerkstoffen genannt: Wachsender Flugverkehr; Multinationale Produktion; Reduzierung der „Time to market“ und der Entwicklungskosten; Kostenreduzierung über den gesamten Lebenszyklus; Nischenanwendungen und Spezialteile; Steigender Einsatz von Verbundwerkstoffen auch für große tragende Komponenten; Trend zu größeren Strukturen; Militäranwendungen; Umweltaspekte (Gesundheit und Sicherheit bei der Produktion); Vollständige Recyclingfähigkeit.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf sieht man bei der Widerstandsfähigkeit und Robustheit neuer Verbundwerkstoffe, bei der Skalierbarkeit zu großen Teilen und hohen Stückzahlen und bei der Automatisierung der Herstellungsprozesse. Technologien für das Zusammenfügen und die Reparatur von großen Verbundwerkstoffteilen sowie das Bruchverhalten und die Langzeitbeständigkeit müssen ebenfalls weiter erforscht werden.

Die britische Luft- und Raumfahrtindustrie strebt eine weltweite Führungsposition im Einsatz von Verbundwerkstoffen an. Dies soll erreicht werden durch die Schaffung von Exzellenzclustern im Bereich Kompositmaterialien, eine gezielte Ingenieurausbildung, die Förderung von Technologiedemonstrationsprojekten und die Realisierung von profilierten Hightech-Anwendungen, um Verbundwerkstoffe bekannter zu machen und besser vermarkten zu können. Es sollen neue Komposite auf der Basis von Nanomaterialien, Kunstharzen, Polymeren, neuen Fasern und Oberflächentechnologien mit besseren Eigenschaften für den Einsatz im Flugzeugbau entwickelt werden. Dabei wird der verstärkte Einsatz von Modellierungs- und Simulationsmethoden während der Ent-



wicklungs- und Designphase empfohlen. Es werden auch konkrete Zielvorgaben gemacht, wie das Erreichen einer besseren Stabilität von Verbundwerkstoffen als die von Aluminiummaterialien und die Herstellung aller Airbus-Tragflächen aus Kohlefasern.



### **Technology Roadmap for Composites in the Automotive Industry**

**Autoren:** National Composites Network (ncn), DTI

**Projekt:**

**Land/Region:** Großbritannien

**Umfang:** 26 Seiten

**Datum:** Oktober 2005

**Prozess:** Workshop mit 14 Experten

**Zeithorizont:** k. A.

**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe

Diese Roadmap enthält Einschätzungen zur aktuellen Lage, zukünftigen Entwicklungen, Innovationshemmnissen und Lösungsmöglichkeiten sowie Handlungsempfehlungen im Bereich der Verbundwerkstoffe für die Automobilindustrie. Das Dokument enthält keine Angaben oder Diagramme zu den Zeitspannen, in denen die beschriebenen Entwicklungen erwartet werden.

In der Analyse der momentanen Situation im Fahrzeugbau und Zulieferbereich in Großbritannien werden folgende Trends und „Technology drivers“ für die Verwendung von Verbundwerkstoffen genannt: Optimierung der Produktzyklen und allgemeine Senkung der Kosten; Ersetzen von Stahl; Trend zu „Life style“-Fahrzeugen; Trend zur modularen Produktion; Nachfrage nach intelligenten Fahrzeugen. Durch die Gesetzgebung (hier: Großbritannien) werden auch Anreize zum Recycling, geringerem Fahrzeuggewicht und geringeren Emissionen geschaffen.

Als Ziele für die zukünftige Entwicklung von Verbundwerkstoffen in der Automobilindustrie werden die volle Recyclingfähigkeit, geringes Gewicht, geringer Verbrauch und erhöhte Sicherheit sowie vollständige Kompositkonstruktionen genannt. Es werden verbesserte Prozesse und Automatisierungstechnologien, aber auch Verbesserungen im Reparaturbereich angestrebt. Der Einsatz von Thermoplast-Kompositen soll gesteigert werden. Für eine kosteneffiziente Integration und Recycling müssen neue Füge- und Trenntechnologien entwickelt werden. Die Technologie soll in einem großen Volumenprodukt demonstriert werden.

Allgemein wird der britischen Industrie eine starke Position beim Einsatz von Kompositwerkstoffen in bestimmten Nischen der Automobilindustrie, aber auch im Flugzeug- und Schiffbau zugesprochen. Eine stärkere Zusammenarbeit der verschiedenen Branchen wäre von großem Vorteil.

Besonders Strukturen aus Thermoplast-Kompositen könnten Metallteile ersetzen. Es werden große Vorteile für „smarte“ Verbundwerkstoffe im Reparaturbereich gesehen. Erheblicher Entwicklungsbedarf besteht auch bei der Verbindung von Verbundwerkstoffen mit anderen Materialien, vor allem mit Metallen.

Neben den technologischen Aspekten werden auch Empfehlungen zur Förderung, Vermarktung und öffentlichen Darstellung von Verbundwerkstoffen im Fahrzeugbau gegeben.

### **Technology Roadmap for Composites in the Construction Industry**

**Autoren:** National Composites Network (ncn), DTI

**Projekt:**

**Land/Region:** Großbritannien

**Umfang:** 35 Seiten

**Datum:** Juni 2006

**Prozess:** Workshop mit 12 Experten

**Zeithorizont:** k. A.

**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe

Diese Roadmap enthält Einschätzungen zur aktuellen Lage, zukünftigen Entwicklungen, Innovationshemmnissen und Lösungsmöglichkeiten sowie Handlungsempfehlungen im Bereich der Verbundwerkstoffe für die Bauindustrie. Das Dokument enthält keine Angaben oder Diagramme zu den Zeitspannen, in denen die beschriebenen Entwicklungen erwartet werden.

In der Analyse der momentanen Situation der Bauindustrie in Großbritannien werden folgende Trends und „Technology drivers“ für die Verwendung von Verbundwerkstoffen genannt: Trend zu modularer Fertigungsbauweise mit sehr kurzen Bauzeiten, erhöhte Berücksichtigung der Umweltauswirkungen (Nachhaltigkeits- und Lebensdaueranalysen), Trend zu mehr kleineren Häusern durch gesellschaftlichen Wandel, erhöhter Bedarf an korrosionsbeständigen Komponenten mit geringem Wartungsaufwand, Trend zu Leichtbauweise sowie steigende Bedeutung von Recycling und Wiederverwertung.

Es wird die Vision beschrieben, dass in Zukunft Architekten und Designer Verbundwerkstoffe als gleichwertiges Baumaterial neben herkömmlichen Werkstoffen ansehen und einsetzen. Um dies zu erreichen, werden verschiedene Maßnahmen empfohlen. Inhalte zu Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten von Verbundmaterialien sollten auf allen Ebenen in die Ausbildung integriert werden. Es sollten Qualitätsstandards und Anwendungsrichtlinien für Verbundwerkstoffe in der Bauindustrie entwickelt werden. Vor allem Verbindungs- und Füge-technologien sollten



besser verstanden und weiterentwickelt werden. Auch die Verbindung von Kompositen mit anderen Baumaterialien, wie Stahl und Beton, sollte genauer untersucht und verbessert werden. Zu folgenden Themenkomplexen werden gezielte Forschungsmaßnahmen als notwendig erachtet: Beständigkeit für Langzeit-Anwendungen (100 Jahre), Lebenszyklusanalysen und „Environmental footprint“.

Komposite und Kunststoffe werden in der Bauindustrie, im Gegensatz zu anderen Branchen, wie der Automobilindustrie oder dem Flugzeugbau, als Billiglösungen von minderer Qualität angesehen. Um dies zu ändern, wird ein „Re-branding“ empfohlen durch eine bessere Vermarktung und Öffentlichkeitsarbeit sowie die Vermeidung des Ausdrucks „Plastik“.



### **Technology Roadmap for Composites in the Marine Industry**

**Autoren:** National Composites Network (ncn), DTI

**Projekt:**

**Land/Region:** Großbritannien

**Umfang:** 27 Seiten

**Datum:** März 2006

**Prozess:** Workshop mit 19 Experten

**Zeithorizont:** k. A.

**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe

Diese Roadmap enthält Einschätzungen zur aktuellen Lage, zukünftigen Entwicklungen, Innovationshemmnissen und Lösungsmöglichkeiten sowie Handlungsempfehlungen im Bereich der Verbundwerkstoffe für den Schiffbau. Das Dokument enthält keine Angaben oder Diagramme zu den Zeitspannen, in denen die beschriebenen Entwicklungen erwartet werden.

In der Analyse der aktuellen Situation im Schiffbau werden folgende Trends und „Technology drivers“ für den Einsatz von Verbundwerkstoffen genannt: Gewichteinsparung, Verbesserung der Beständigkeit, Verbesserung im Design; Senkung der Kosten, Erschließung neuer Märkte, effizientere und sauberere Produktionsverfahren, Trend zu mehr hochentwickelten Verbundwerkstoffen im Mainstreamsektor. Erhöhter Entwicklungsbedarf wird vor allem bei der Feuer- und Geräuschkämmung sowie in der Oberflächenbeständigkeit und -reparaturfähigkeit gesehen.

Die Haupthemmnisse liegen im hohen Grad an Fragmentierung der gesamten Branche, geringen Produktionsvolumen sowie in der geringen Effizienz kaum optimierter Fertigungsprozesse. Um diesen Problemen zu begegnen, sollen die Design- und Produktionsprozesse verbessert und besser aufeinander abgestimmt werden („Design for production“, „lean

manufacture“). Dazu ist auch eine intensivere Zusammenarbeit mit Zulieferern schon in der Entwicklungsphase erforderlich.

Der Schiffbaubranche wird empfohlen, Werkstofftechnologien, wie Nanokomposite und nanostrukturierte Beschichtungen, die in der Automobil- bzw. der Luft- und Raumfahrtindustrie entwickelt wurden, stärker zu nutzen. Es wird auch vorgeschlagen, außerhalb der eigenen Branche nach neuen Geschäftsfeldern und möglichen Kooperationspartnern zu suchen, um eine höher wirtschaftliche Stabilität zu erreichen. Es wird aber auch eine aktive Beteiligung an öffentlichen Forschungsprojekten mit akademischen Kooperationspartnern empfohlen.

### **Technology Roadmap for the Metal-Matrix Composites Industry**

**Autoren:** National Composites Network (ncn), DTI

**Projekt:**

**Land/Region:** Großbritannien

**Umfang:** 30 Seiten

**Datum:** März 2006

**Prozess:** Workshop mit 13 Experten

**Zeithorizont:** k. A.

**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe

Diese Roadmap enthält Einschätzungen zur aktuellen Lage, zukünftigen Entwicklungen, Innovationshemmnissen und Lösungsmöglichkeiten sowie Handlungsempfehlungen im Bereich der Metallmatrix-Verbundwerkstoffe. Das Dokument enthält keine Angaben oder Diagramme zu den Zeitspannen, in denen die beschriebenen Entwicklungen erwartet werden.

In der Analyse der aktuellen Situation werden u. a. folgende Trends und „Technology drivers“ für den Einsatz von Metallmatrix-Verbundwerkstoffen genannt: Reduzierung von Emissionen und Energieverbrauch; Kürzere „Time to market“; Verbesserung der Beständigkeit; Reduzierung der Masse; Miniaturisierung; Kosteneffizienz; Geräuschminderung. Metallmatrix-Komposite müssen sich gegen die starke Konkurrenz aus herkömmlichen Werkstoffen (Metallen), aber auch aus Polymer-Verbundwerkstoffen durchsetzen. In Großbritannien ist die kritische Masse an Akteuren hierfür noch nicht erreicht und wird für das Jahr 2010 angestrebt.

Für eine erfolgreiche Entwicklung dieser innovativen Werkstoffklasse müssen zunächst Anwendungen bzw. Produkte identifiziert werden, für die neue Materialien entwickelt werden sollen. Ebenso muss eine kosteneffiziente Produktion gewährleistet sein mit geeigneten Verfahren für die Herstellung, Verbindung, das Fügen und Verarbeiten von Metallmatrix-



Kompositen. Im Bereich der Aluminiumbasierten Metallmatrix-Verbundwerkstoffe wird als nächster Schritt der Durchbruch in Anwendungen mit großen Produktionsvolumen als notwendig erachtet. Forschungs- und Entwicklungsbedarf wird gesehen im Bereich der Nano-Metallmatrix-Komposite, bei der Faserverbundtechnologie und bei neuartigen SiC-Fasern. Es wird aber auch davor gewarnt, immer neue Materialien zu entwickeln, ohne die Probleme der bereits bekannten Materialien zu lösen. Zum Einsatz in einem möglichst breiten Spektrum von Anwendungen müssen Materialeigenschaften, wie die Robustheit, Steifigkeit, Hitzebeständigkeit, aber auch die Verarbeitbarkeit weiter verbessert werden. Dazu werden öffentlich geförderte, akademische Forschungsaktivitäten empfohlen, die sich am industriellen Bedarf orientieren. Es wird auch auf den notwendigen Einsatz von Modellierungs- und Simulationsmethoden bei der Entwicklung neuer Komposite hingewiesen.

### **The Global Technology Revolution - Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015**

**Autoren:** Philip S. Antón, Richard Silbergliitt, James Schneider

**Projekt:** National Intelligence Council

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 87 Seiten

**Datum:** 2001

**Zeithorizont:** 2015

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien, Biomaterialien, Werkstoffe allgemein

Die Studie beschäftigt sich mit Technologien, die nach Auffassung der Autoren starken Einfluss auf die globale Entwicklung bis zum Jahr 2015 haben werden. Hierzu gehören die Informationstechnologie, die Biotechnologie und die Nanotechnologie sowie der Werkstoff-Bereich. Besonderer Wert wird auf Synergien der drei letzt genannten Bereiche mit der Informationstechnologie gelegt.

Nach einer kurzen Einführung werden zahlreiche zu erwartende Entwicklungen, wie künstliche Organe, Nanomaterialien, Nano-Molekülelektronik oder Messinstrumente im Nano-Bereich, kurz vorgestellt. Auch Anwendungsmöglichkeiten wie Rapid Prototyping, Sensoren oder das „Lab-on-a-Chip“ werden kurz beschrieben.

Anschließend werden die Auswirkungen dieser Trends diskutiert und zu erwartende Synergien und Konvergenzen erläutert.

---

**The Global Technology Revolution 2020, In-Depth Analyses - Bio/Nano/Materials/Information Trends, Drivers, Barriers, and Social Implications**

**Autor:** RAND

**Projekt:** National Intelligence Council

**Land/Region:** USA/Weltweit

**Umfang:** 44 Seiten (Zusammenfassung)

**Datum:** 2006

**Zeithorizont:** 2020

**Werkstoffklasse:** Smart Materials, Biomaterialien, Nanomaterialien, Faserverbundwerkstoffe

Die Studie untersucht die globale Entwicklung im Hinblick auf Möglichkeiten und Gefahren. Hierzu werden Technologien und Anwendungsfelder betrachtet, die das Potenzial haben, eine globale Bedeutung zu erreichen.

Zunächst werden die Biotechnologie, Nanotechnologie, Materialwissenschaften und die Informationstechnologie als einige der Schlüsseltechnologien identifiziert, die das Potenzial haben, bis 2020 signifikanten Einfluss auf die globale Entwicklung zu nehmen.

Daraufhin wurden 16 besonders hervorzuhebende Technologien genannt, die aufgrund der Marktnachfrage und ihrer kommerziellen Verfügbarkeit mit großer Wahrscheinlichkeit im Jahr 2020 von großer Bedeutung sein werden.

Bei den Materialwissenschaften gilt das Augenmerk vor allen Dingen Smart Materials wie piezoelektrischen Materialien, magnetostriktiven Materialien oder Formgedächtnislegierungen, außerdem Biomaterialien, Nanomaterialien, Fasern und organischer Elektronik.

Anschließend werden einzelne Staaten und Regionen hinsichtlich ihrer Möglichkeiten in Bezug auf die Nutzung der vorgestellten Technologien untersucht.

In den folgenden Abschnitten wird ein auf die Entwicklungsstufen der einzelnen Länder abgestimmter Innovationsplan vorgestellt, der eine Vorgehensweise beschreibt, mit deren Hilfe möglichst viele der vorgestellten Technologien bis 2020 etabliert werden könnten.

**The vision for 2025 and beyond - A European Technology Platform for Sustainable Chemistry**

**Autoren:** Frank Agterberg, John Butler, Dirk Carrez, Marcos Gómez, Ruediger Iden, Elmar Kessenich, Colja Laane, Sean McWhinnie, Royal Society of Chemistry, Russel Mills, Klaus Sommer

**Projekt:** European Technology Platform for Sustainable Chemistry (SusChem)

**Land/Region:** EU

**Umfang:** 36 Seiten

**Zeithorizont:** >2025

**Werkstoffklasse:** Neue Materialien, Spezialmaterialien

Die Studie befasst sich mit den Folgen, Möglichkeiten und Problemen, die sich für die chemische Industrie durch den Wandel ergeben, der sich aktuell sowohl soziologisch als auch wirtschaftlich auf der Welt vollzieht.

Besonderes Augenmerk gilt der Frage, wie die europäische Chemie unter diesem Gesichtspunkt ihre Wettbewerbsfähigkeit erhalten oder sogar noch steigern kann, vor allen Dingen im Hinblick auf nachhaltige Strategien.

Hierzu wird zunächst die aktuelle Situation, im Besonderen die Aufteilung der Chemie-Industrie in die einzelnen Marktsegmente betrachtet.

Anschließend wird eine Strategie präsentiert, mit der sich die chemische Industrie nachhaltig stärken ließe. Einer der Stützpfeiler der Strategie ist der Plan, Europa zum weltweit größten Hersteller von Spezialmaterialien und zu einem technologischen Führer im Bereich der Materialwissenschaften zu machen.

Weitere Punkte der Strategie befassen sich mit weißer Biotechnologie und ökonomischen Perspektiven.

## 3 MARKTSTUDIEN

### 3.1 Zusammenfassende Betrachtung

Hinsichtlich der Einschätzung des derzeitigen und in Zukunft zu erwartenden Marktpotenzials bestimmter Werkstoffklassen wurde eine Reihe von Marktstudien unterschiedlicher Marktforschungsunternehmen und -institutionen ausgewertet. Aus der Analyse der Studien ergeben sich für einige neue Materialien außerordentlich hohe Marktentwicklungschancen, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass von der Ausgangsbasis eines geringen absoluten Marktvolumens, das für zahlreiche neue Materialien derzeit noch gegeben ist, hohes Wachstum leichter zu erzielen ist, als in breiten oder gesättigten Märkten. Aus den Studien kristallisieren sich für die nächsten Jahre Markttrends heraus, von denen die aussichtsreichsten im Folgenden kurz umrissen werden.

Analyse von Marktstudien

Als eine generelle Entwicklung ist sowohl in den zurückliegenden Jahren, als auch für die nähere Zukunft ein weltweiter Trend zu Leichtbaumaterialien festzustellen (S. 127f). Während für einen Großteil des Werkstoffsektors, vor allem bei den etablierten Materialien und Massenwerkstoffen die jährlichen Wachstumserwartungen für die nächsten Jahre etwa zwischen 2 und 6 % liegen, werden für den Leichtbausektor Nachfrage- und Produktionssteigerungen von im Mittel etwa 10 % pro Jahr prognostiziert. Insgesamt wird hier bis 2011 ein globales Marktvolumen von mehr als 90 Mrd € erwartet. Hierbei werden sich die einzelnen Leichtbausegmente jedoch unterschiedlich entwickeln.

Überdurchschnittliche Marktentwicklung bei Leichtbaumaterialien

#### Werkstoffklassen

##### *Metalle*

Vor dem Hintergrund des Trends zu Leichtbauanwendungen ergeben sich bei den Metallen gute Perspektiven vor allem für Leichtmetalle wie etwa Aluminium oder für Metall-Matrix-Komposite (s. u.) (S. 141f). Daneben werden gute Wachstumspotenziale vor allem für Spezialmetalle im Bereich elektronischer Komponenten, chemischer Katalysatoren sowie als Elektrodenmaterialien gesehen (S. 105f, S. 106f, S. 107, S. 115f). Eine wachsende Bedeutung wird Schäumen zukommen, wobei hier Kunststoffschäume dominieren. Dennoch werden auch nicht-polymeren Schäumen gute Wachstumspotenziale zugeordnet. So werden Metallschäume verstärkt im Bereich katalytischer Substrate eingesetzt. Weitere Anwendungsfelder ergeben sich im Bereich der Energieabsorption als Stoß-, Wärme oder Schallabsorber (S. 102f).

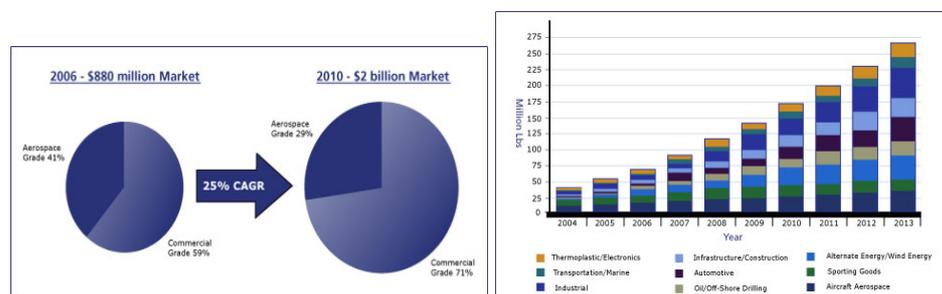
Potenzial für Leichtmetalle, Spezialmetalle und Metallschäume

##### *Polymere / Verbundwerkstoffe*

An Bedeutung gewinnen werden **verstärkte Kunststoffe** (S. 110f, S. 122f). Bei ihnen entfällt der größte Produktionsanteil derzeit und auch in den nächsten Jahren auf Duroplaste, jedoch wird für Thermoplaste ein stärkeres Wachstum erwartet, so dass diese ihren Marktanteil weiter aus-

Bedeutungszuwachs für verstärkte Kunststoffe

bauen werden. So rechnet etwa Airbus mit einer jährlichen Steigerung des Verbrauchs thermoplastischer Komposite im Flugzeugbau von etwa 20 %. Eine zunehmend bedeutende Rolle werden langfaserverstärkte Thermoplaste spielen. Hier hat sich insbesondere der Markt für **Endlosfaserprodukte** in den letzten Jahren rasant entwickelt (S. 113f). Zwischen 1998 und 2003 hat sich das Marktvolumen innerhalb von fünf Jahren verdoppelt. Marktanalysen rechnen mit einer Fortsetzung dieser Entwicklung. Auf der Seite der Fasermaterialien sind **Glasfasern** bezüglich der Menge und des Marktvolumens dominierend. Hier wird für Kohlefasern aufgrund der steigenden Nachfrage aus dem Leichtbaubereich allerdings ein stärkeres Wachstum erwartet.



Marktvolumen von Kohlefasern (links) und Verbrauch (rechts) in verschiedenen Anwenderbranchen (Angaben in „pounds“ (~0,45 kg)). Quelle: Zoltek Corporation 2007

Generell wird die ökonomische Bedeutung von Fasermaterialien und faserverstärkten Kunststoffen stark steigen. Von besonderem Interesse innerhalb dieser Klasse sind **Kohlefaserprodukte** (S. 111f, S. 127f, S. 138f). So wird der weltweite Markt für Kohlefasern, der im vergangenen Jahr ein geschätztes Volumen zwischen 700 Mio und einer Milliarde Euro aufwies, bis zum Jahr 2010 um etwa 80 % bis 100 % wachsen. Zurückzuführen ist die auf den verstärkten Einsatz von **Kohlefaserverbundwerkstoffen (CFK)** in zahlreichen Branchen wie etwa im Aerospacebereich, im Automobil- und Transportsektor, bei Windkraftanlagen etc. Insgesamt wird das globale Marktvolumen von CFK bis zum Ende des Jahrzehnts bei 10 Mrd € und bis 2025 bei etwa 20 Mrd € erwartet.

Polymerschäume:  
Anwendungspotenzial  
in verschiedenen  
Branchen

Als interessant für Leichtbau und thermische Isolationsanwendungen, sowie für mechanische Dämpfungsapplikationen können **Schaumprodukte** angesehen werden (S. 101f, S. 102f). Die Marktvolumina für Polymer- und Spezialschäume belaufen sich in den USA und Europa derzeit auf mehrere Milliarden Euro. Die generellen jährlichen Wachstumsraten dieses Bereichs werden bei 5-6 % gesehen, wobei sich jedoch ein überdurchschnittliches Wachstum speziell für Polymerschäume im Bausektor (Energieeffizienz) und im Automobil- und Aerospacebereich (Leichtbau) ergibt. Ein sehr starkes Wachstum von fast 20 %, wenngleich auf der Basis eines derzeit noch kleinen globalen Marktes von 11 Mio US\$, wird für Kohlenstoffschäume erwartet.

**Metall-Matrix-Komposite** repräsentieren einen kleinen Markt, der aber an Bedeutung zunimmt (S. 141f). Sie kommen verstärkt im Automobil- sowie im Aerospacebereich, aber auch in der Mikroelektronik, vor allem in der Wärmeableitung, zum Einsatz. Die weltweite Produktion wird sich bis 2010 auf 4,9 Mio t (140 Mio €) ausweiten.

Metall-Matrix-  
Komposite

Gute Wachstumsaussichten werden auch für **elektroaktive Materialien** prognostiziert (S. 146f). Zu ihnen gehören leitfähige Kunststoffe aus konventionellen Thermoplasten, die spezielle Füllstoffe enthalten sowie inhärent leitfähige (ICP) und inhärent dissipative Polymere (IDP). Hier belief sich der weltweite Markt 2005 auf 550 Mio € und soll sich bis zum Ende des Jahrzehnts verdoppeln.

Leitfähige Kunststoff-  
e

### *Nanomaterialien*

Diese Material- bzw. Werkstoffklasse wird sich in den nächsten Jahren noch nicht in der Breite durchsetzen. Das Marktvolumen bleibt im Vergleich zu etablierteren Materialien zunächst noch eher gering. Allerdings werden in diesem Bereich die mit Abstand stärksten Wachstumsperspektiven aller Materialklassen gesehen. Zahlreiche Studien stimmen in der Prognose großer Steigerungsraten sowohl bezüglich der produzierten Menge, als auch hinsichtlich des Marktwertes überein. Großes Potenzial wird im Bereich verstärkter Kunststoffe etwa für nanoröhrenbasierte Komposite gesehen (S. 114f, S. 120f), deren Wert bis 2010 auf immerhin 3 Mrd € geschätzt wird. Das Marktvolumen für **Kohlenstoff-Nanoröhren**, als aussichtsreichstes Nanomaterial, wird zum Ende des Jahrzehnts mit etwa 700 Mio bis 1 Mrd € abgeschätzt mit jährlichen Zuwachsraten von über 70 % (S. 128f). Insgesamt wird der Nanomaterialsektor bis 2020 bei Umsätzen von bis zu 70 Mrd € gesehen (S. 123f).

Nanomaterialien:  
starkes Wachstums-  
potenzial

Kohlenstoff-  
Nanoröhren

Interessant ist die Entwicklung, die sich bei **Aerogelen** abzeichnet (S. 104f). Potenzielle Anwendungen tun sich verstärkt als thermisches Isolationsmaterial oder als extrem leichter Füll- und Matrixstoff für Faserkomposite im Leichtbausektor auf. Der globale Markt dieser noch sehr neuen Materialklasse wuchs in den zurückliegenden Jahren rasant mit Wachstumsraten im hohen zweistelligen Bereich. Allerdings ist das Gesamtvolumen dieses speziellen Marktes derzeit noch sehr gering. Für die nächsten Jahre wird mit jährlichen Steigerungen von etwa 80 % gerechnet.

Aerogele: starke  
Marktzuwächse

### *Keramik*

In diesem Bereich werden vor allem Spezialkeramiken für Elektronikanwendungen, medizintechnische Applikationen oder Katalysatormaterialien eine gute Marktentwicklung zeigen (S. 107, S. 108f, S. 125f). Hier wird mit jährlichen Wachstumsraten von 7-9 % gerechnet. Das Marktvolumen wird bis 2010 allein in den USA bei 12 Mrd US\$ erwartet. Besonders gut entwickeln sich nanoskalige keramische Pulver, die einen wichtigen Teil des Marktes für nanostrukturierte Materialien darstellen. Hier werden in den USA Zuwachsraten von über 17 % pro Jahr erwartet.

Spezialkeramiken

*Glas / Glas-Keramik*

Bioaktive Materialien

Ähnliche Wachstumsraten werden für **bioaktive Materialien** (Gläser, Keramiken, Glas-Keramik, Komposite) erwartet (S. 131, S. 134f). Hier kann bei Jahressteigerungen von über 17 % bis 2011 eine Verdoppelung des weltweiten Marktvolumens auf etwa 750 Mio € erwartet werden. Bioaktive Materialien werden in unterschiedlichen Wirtschaftssektoren eingesetzt. Applikationen ergeben sich etwa in medizinischen, zahnmedizinischen, biologischen, biotechnologischen, pharmazeutischen und kosmetischen Bereichen.

Spezialglas

Ein starkes Wachstum wird auch für Spezialgläser gesehen (S. 119f). Insbesondere Sicherheitsgläser, feuerfeste und selbstreinigende Gläser oder auch programmier- und ansteuerbare "smart windows" und Bildschirmgläser werden in den nächsten Jahren erhebliche Volumensteigerungen aufweisen.

Flachglas

Zurückhaltender gestaltet sich die Marktentwicklung von Flachglas, insbesondere in Europa und den USA. Das globale Wachstum wird hier im Wesentlichen durch steigende Nachfrage in den Schwellenländern Asiens getragen. Branchenspezifisch ergeben sich die stärksten Wachstumsraten im Bausektor. Hier wirkt sich der Trend zu Verglasungen, der Gestaltung offener Architekturen und der Nutzung von Tageslicht marktfördernd aus (S. 119f).

*„Smart Materials“*

„Intelligente Materialien“: überdurchschnittliches Wachstum

Zuwachsraten im hohen zweistelligen Bereich werden für **„intelligente Materialien“** erwartet, die dynamisch auf externe Stimulationen reagieren und meist sensorische und aktorische Funktionalitäten aufweisen (S. 137f). Der Markt für „smart materials“ wird in den kommenden Jahren um 8-9 % wachsen und zum Ende des Jahrzehnts knapp 10 Mrd € erreichen. Das Marktvolumen für Endprodukte, die intelligente Materialien enthalten, wird auf 40-50 Mrd € abgeschätzt.

*Naturstoffe*

Ersatzmaterialien

Dem globalen, vor allem aber in den Industriestaaten vorherrschenden Trend nach nachhaltigem Wirtschaften und der Verwendung umweltverträglicher Produkte entsprechend, haben in den letzten Jahren **Ersatzmaterialien für gesundheitsgefährdende Stoffe** stark an Bedeutung gewonnen (S. 135f). Materialien und Werkstoffe mit dieser Zielstellung haben 2005 ein globales Marktvolumen von etwa 4,5 Mrd € erzielt. Für sie wird bis zum Ende des Jahrzehnts ein überdurchschnittliches Jahreswachstum von 7,4 % erwartet. Als Ersatzmaterialien werden häufig Metallverbindungen und Verbundwerkstoffe eingesetzt, eine zunehmende Rolle spielen hier jedoch Naturstoffe und Biomaterialien, die sich durch eine zumeist gute Verfügbarkeit der Rohmaterialien auszeichnen.

---

## 3.2 Kurzbeschreibungen der gesichteten Marktstudien

### **European Markets for Polymer Foams**

**Autor:** Frost & Sullivan

**Land/Region:** Europa

**Datum:** Juni 2005

**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Expertenbefragung; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2011

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere

Die stark gestiegenen Rohölpreise der letzten Jahre hatten nachhaltigen Einfluss auf die Situation der Hersteller organischer Materialien. So sahen sich auch führende Produzenten von Polymerschäumen wie BASF oder Dow Chemical veranlasst, ihre Preise zwischen 2004 und 2005 mehrfach anzupassen. Obwohl das steigende Preisniveau das Wachstum der Polymerschäumproduzenten zunächst befördert, besteht doch die Gefahr längerfristig schwindender Margen, zumal die Abnehmer und hier besonders das Verbrauchsgütersegment (Verpackungen etc.) sehr preissensibel sind. Die Herausforderung für die Hersteller besteht also darin, die Rohstoffpreisentwicklung an die Abnehmer weiterzugeben, ohne dass diese sich alternativen Materialien zuwenden.

Die Studie analysiert den europäischen Markt für Polymerschäume hinsichtlich verschiedener Schaumtypen (Polyurethan-Schäume, Polystyrol-Schäume, Polyvinylchlorid-Schäume, Phenol-Schäume, Polyolefin-Schäume etc.) und Anwendungsbranchen (Bauwirtschaft, Verpackungsmaterialien, Automobil und Aerospace, Verbrauchsgüter etc.). Sie diskutiert die markttechnischen Hürden und Chancen für Polymerschäume und Schaumprodukte und arbeitet die Strategien erfolgreich an diesem Markt operierender Unternehmen heraus. Weiterhin wird die vermutliche Marktentwicklung der nächsten Jahre im Detail analysiert. Die Studie beleuchtet die F&E-Aktivitäten in unterschiedlichen Anwendungs- und Produktsegmenten und beschreibt insbesondere neue Produktentwicklungen. Zudem nimmt sie eine Vergleichsanalyse mit alternativen, konkurrierenden Werkstoffen und Technologien vor und untersucht die Stärken und Schwächen von Polymerschäumen im Vergleich zu diesen.

Insgesamt belief sich der europäische Markt für Polymerschäume 2004 auf 4,7 Mrd € Von diesem Niveau ausgehend wird ein kontinuierliches jährliches Wachstum von 5,2 % auf 6,7 Mrd € im Jahr 2011 erwartet. Innerhalb des Prognosezeitraumes werden Polyurethanschäume sowohl hinsichtlich der Produktionsmenge, als auch bezüglich des Marktvolumens den größten Anteil stellen. Die Umsatzsteigerungen bei Polymer-

schäumen werden allerdings vor allem durch die steigende Preisentwicklung und weniger durch den Mengenbedarf getrieben.

Hinsichtlich der Anwenderbranchen wird sich der Bedarf im Bausektor sehr gut entwickeln. Hier werden bis 2011 Jahresumsätze von etwa 3 Mrd € erwartet. Treiber sind hier vor allem die an Bedeutung gewinnenden Energieeffizienzvorgaben in zahlreichen europäischen Ländern, die zu einem Mehrverbrauch an Isolationsmaterialien führen. Der Automobil- und Aerospacebereich wird ebenfalls verstärkt auf Polymer-schäume zurückgreifen. Treiber sind hier sowohl Leichtbauaspekte, als auch schärfere Bestimmungen hinsichtlich der Passagiersicherheit. Speziell im Automobil- und Aerospacebereich werden sowohl Mengen als auch Preise steigen, so dass hier das Wachstum überproportional verläuft.

Insgesamt gestaltet sich der europäische Markt für Polymerschäume jedoch heterogen und ist gekennzeichnet durch Teilbereiche mit großem Wachstum bzw. Wachstumspotenzial, während andere Bereiche gesättigt sind und eine nur geringe bis rückläufige Marktentwicklung zeigen.

### **Specialty Foams**

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 201 Seiten

**Datum:** August 2005

**Zeithorizont:** 2009-2014

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe /Polymere, Metalle, Keramiken

Der Bedarf an Spezialschäumen in den USA wird mit einem jährlichen Wachstum von 5,5 % bis 2009 bei einem Marktvolumen von 1,3 Mrd US\$ erwartet, entsprechend einer Menge von etwa 230.000 t. Getrieben wird das Wachstum durch eine verstärkte Nachfrage nach leichten Materialien mit verbesserten Eigenschaften hinsichtlich Dämmung, Isolation, Struktur etc. Einem noch stärkeren Wachstum steht vor allem die Nutzung alternativer Materialien, wie nicht geschäumter Thermoplasten, Metalle, Gummi und thermoplastischer Elastomere entgegen.

Schäume aus Polyurethan und technischen Kunststoffen werden weiterhin den Markt für Polymerschäume dominieren. So wird der Markt für Polyurethanschäume jährlich um 5,6 % auf 440 Mio US\$ im Jahr 2009 ansteigen. Treiber dieses Wachstums sind vor allem Anwendungen in der Luft- und Flüssigkeitsfiltration, in Dichtungen, Strukturverstärkungen, Flammenschutz und Schallisolation. Ein gutes Wachstum wird auch im Bereich hydrophiler, Wasser absorbierender Schäume, wie sie etwa bei Wundauflagen eingesetzt werden, erwartet.

Der Bedarf an Schäumen aus technischen Kunststoffen wird jährlich um 4,5 % auf 295 Mio US\$ im Jahr 2009 ansteigen. Anwendungen in diesem Segment basieren hauptsächlich auf den guten dielektrischen Eigenschaften, der Festigkeit und Temperaturbeständigkeit. So werden sich wesentliche Anwendungen für Polyphenylen-Oxid- und Polycarbonatschäume in Schirmungsgehäusen für elektronische Produkte darstellen, während Polyimidschäume in thermischen und akustischen Hochleistungsisolierungen zum Einsatz kommen.

Andere, nicht auf Kunststoffen basierende Schäume, wie Metall- oder Keramikschäume werden ein gutes Wachstum im Bereich katalytischer Substrate oder der Metallfiltration aufweisen. Neu aufkommende Materialien wie Aluminiumschäume haben ein gutes Potenzial in Feldern wie Energieabsorption (z. B. Knautschzonen im Automobilsicherheitsbereich) oder bei Dieselpartikelfiltern. Für metallische Schäume sind weiterhin Anwendungen als Hitzeschilder, Wärmekapselungen, Filter, Katalysatorträger, schallabsorbierende Verkleidungen oder die Herstellung sehr leichter, ausgeschäumter Walzen für die Druck- oder Papierindustrie denkbar.

Gute Wachstumschancen werden auch für Glasschäume gesehen. Anwendungsfelder ergeben sich hier vor allem im Bereich thermischer Isolation, insbesondere in Spezialtanks für verflüssigtes Erdgas.

Auf der Seite der Anwenderbranchen sind der Elektroniksektor sowie Industrieanwendungen dominierend. Hier werden Schäume vor allem im Verkabelungsbereich, als Dichtungen, Versiegelungen, Filter, oder als thermische Isolatoren für Speichertanks und Ventile eingesetzt. Der Bedarf im Transportsektor wird vor allem bestimmt durch Sicherheits- und Kraftstoffeffizienz-Aspekte für Automobile, Schiffe, Flugzeuge und andere Fahrzeuge. Daneben ergeben sich verstärkt auch Anwendungen im Healthcare und Medizinbereich.

#### US Specialty Foam demand (\$1 billion, 20046)



**Aerogels****Autor:** Margareth Gagliardi (BCC research)**Land/Region:** global**Umfang:** 132 Seiten**Datum:** Juni 2006**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Expertenbefragung; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage**Zeithorizont:** 2011**Werkstoffklasse:** Aerogele

Aerogele wurden bereits in den 30er Jahren entdeckt. Dennoch blieben sie über lange Zeit ein Nischensegment. Erst in jüngerer Zeit konnte durch die Einführung neuer Zusammenstellungs- und Herstellungsverfahren eine Massenproduktionskapazität erreicht werden.

Aerogele sind nanoporöse Materialien mit ungewöhnlichen Eigenschaften und einer Reihe potenzieller Anwendungen in verschiedenen Sektoren, wie in der Elektronik (Halbleiterbauteile, optoelektronische Geräte, Flachbildschirme, Bildgebungssysteme, Sensoren, Detektoren), der Chemiebranche (Katalysatoren, Mikrofilter, Formen für Metallgussteile), im Werkstoff- (thermische und akustische Isolationen) oder im Energiesektor (Solarzellen, Brennstoffzellen, Batterien, Superkondensatoren). Weitere Anwendungsfelder sind der medizinisch-pharmazeutische Bereich, die Nanotechnologie, der Aerospace-Sektor sowie der Konsumgütersektor. Insgesamt zeichnet sich ein steigendes Interesse an der Verwendung von Aerogelen zur Herstellung neuer, innovativer Produkte ab, und die Materialklasse befindet sich derzeit am Übertritt von der kleinskaligen Laborproduktion zum Massenmarkt.

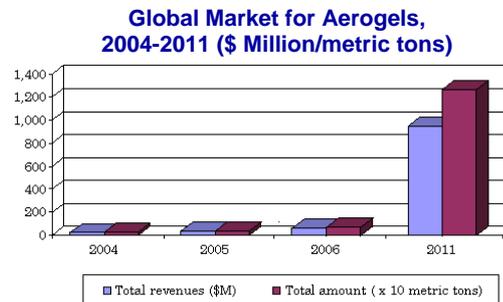
Die Studie gibt einen Überblick über den Markt für Aerogele, die wesentlichen Hersteller und zukünftige Trends und untersucht den Bedarf und die Herstellung differenziert nach Aerogeltyp und Anwendungen. Analysiert werden 16 Hersteller von Aerogelen, die derzeit 95 % des globalen Aerogelmarktes bedienen (u. a. Dow Corning, Cabot, CDT Systems, Matsushita etc.).

Der globale Markt für Aerogele wuchs von 24,8 Mio US\$ im Jahr 2004 über 35,7 Mio US\$ im Jahr 2005 auf 62,2 Mio US\$ im Jahr 2006. Die produzierte Menge stieg in diesem Zeitraum von 253 t (2004) über 392 t (2005) auf über 700 t im Jahr 2006.

Die Verbrauchs- und Umsatzsteigerung wurde wesentlich durch die Verwendung von Aerogelen als thermische und akustische Isolationsmaterialien getrieben. Hauptabnehmer waren hier der Bausektor sowie der Versorgungssektor, bei dem Aerogele verstärkt als Isolationen für Rohrleitungen verwendet werden. Insgesamt trug der Bereich der thermischen

Isolation im Jahr 2006 mit etwa 58 % zu den erzielten Gesamtumsätzen bei. Andere Schlüsselmärkte sind in der Sensorik, im Instrumentenbereich, im Konsumgütersektor und im pharmazeutischen Bereich zu sehen.

Die Aerogelhersteller legen ihr Hauptaugenmerk auf Kostensenkung und entwickelten in den letzten Jahren neue Aerogel-Typen um größere bzw. stark expandierende Märkte adressieren zu können. Zu ihnen gehören u. a. Textilien, Brennstoffzellen, Batterien, Katalysatoren.



In den nächsten Jahren wird der Bedarf an Aerogelen insgesamt außerordentlich stark wachsen. Bis 2011 prognostiziert die Studie jährliche Wachstumsraten von 78,1 % auf eine Gesamtmenge von dann 12.500 t.

### **Anode & Cathode Foil Markets for Aluminium Electrolytic Capacitors: 2005-2010**

**Autor:** Dennis M. Zogbi (Paumanok Publications Inc.)

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 67 Seiten

**Datum:** März 2005

**Zeithorizont:** 2010

**Werkstoffklasse:** Metalle/Stahl/Legierungen

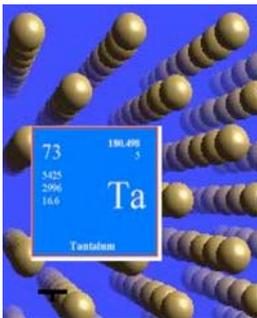
Die Marktstudie beleuchtet Technologie und Einsatzmöglichkeiten, sowie den globalen Markt und das Wettbewerbsumfeld hochreiner (99,6 und 99,9%), dünner Aluminiumfolien für Elektrodenmaterialien. Die aus diesen Folien gefertigten Anoden und Kathoden werden von Elektrolytkondensatoren-Herstellern verarbeitet. Der weltweite Marktumfang solcher Kondensatoren beläuft sich auf Stückzahlen von ca. 100 Mrd bei einem globalen Marktvolumen von etwa 3,5 Mrd US\$. Das Elektrodensegment stellt einen sehr spezifischen Bereich der weltweiten Aluminiumfolien-Industrie dar. Das Marktvolumen ist eher gering. Aufgrund großer Wertschöpfung erscheint dieses Segment für viele Aluminiumhersteller jedoch interessant. Neben Profitabilitätsaspekten spielen hier die besonderen Herausforderungen und Potenziale der Energiespeichertechnologien eine treibende Rolle.

In der Studie werden die ökonomischen Indikatoren dieser Sparte des Aluminiumfolienmarktes diskutiert. Die besonderen Rahmen-



bedingungen werden durch die hohen Reinheitsanforderungen an die dünnen Aluminiumschichten vorgegeben, die von Lieferanten oft nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung gestellt werden können. Ein Umstand, der zur Kostensteigerung beiträgt, insbesondere hinsichtlich der Relation zu alternativen Technologien und Materialien wie Tantal, Niob oder hochkapazitiver Keramik.

Der Zeithorizont dieser sehr spezifischen Studie reicht bis 2010.



### **Capacitor Grade Tantalum Metal Powder Market Forecasts: 2007-2011**

**Autor:** Paumanok Publications Inc.

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 75 Seiten

**Datum:** 2007

**Zeithorizont:** 2011

**Werkstoffklasse:** Metalle/Stahl/Legierungen

Die Marktstudie prognostiziert den globalen Verbrauch, sowie die Wertentwicklung von Tantal-Metallpulver in Kondensatoranoden-Qualität im Zeitraum zwischen 2007 und 2011. Hierzu werden die Veränderungen der globalen Anodenproduktion über die nächsten fünf Jahre und die Preisentwicklung unter Berücksichtigung eines ansteigenden Tantalanteils pro Anode abgeschätzt.

Um den Kostenverlauf des Rohmaterials abzuschätzen werden zusätzlich auch der Markt für Tantaldrähte, sowie die Lieferkette für Tantalergundkonzentrat beleuchtet. Letztere ist derzeit mit Prognoseunsicherheiten verbunden, so dass Trends hinsichtlich des Tantalabbaus und Abschätzungen bezüglich der Preisentwicklung und der Verfügbarkeit von Tantalergund in den Jahren 2007 und 2008, sowie deren Einfluss auf die Lieferkette berücksichtigt werden. Eine besondere Rolle spielen hier die Erschöpfung von Minenkapazitäten, sowie Veränderungen relevanter Firmenstrukturen, wie etwa der Verkauf von H. C. Starck durch Bayer oder der Verkauf der Tantal-Kondensator-Sparte von EPCOS an den US-Kondensatorhersteller Kemet.

Der Hauptfokus der Studie liegt auf kondensatorgeeignetem Tantalpulver. Daneben werden weitere Märkte, wie die für Tantaldrähte, Tantalergund und -konzentrate, kleinskalige Ta-Chip-Kondensatoren und Kondensatoren aus leitfähigen Polymeren adressiert.

Zur Erstellung der Studie wurden unterschiedliche Quellen der gesamten Tantal Lieferkette herangezogen. Hierzu zählen Minenbetreiber, Tantalpulver- und Ta-Draht-Produzenten, sowie Kondensatorhersteller.

## Critical Metals Markets for Passive Components: 2007-2011

**Autor:** Paumanok Publications Inc.

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 34 Seiten

**Datum:** April 2007

**Zeithorizont:** 2011

**Werkstoffklasse:** Metalle/Stahl/Legierungen

Die Studie analysiert die Auswirkungen von Preisanhebungen bei Rohmaterialien auf die Produktionskosten passiver elektronischer Komponenten.

Untersucht werden die Märkte verschiedener Metalle wie Ruthenium, Nickel, Kupfer, Aluminium oder Tantal, sowie unterschiedlicher Anwendungen (Elektroden, Abschlüsse etc.) und Komponenten (Vielschichtkondensatoren (MLCC), Chip-Widerstände, Aluminium- oder Tantalkondensatoren).



## Ceramic Dielectric Materials: World Markets, Technologies & Opportunities: 2006-2010

**Autor:** Paumanok Publications Inc.

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 67 Seiten

**Datum:** Juli 2006

**Zeithorizont:** 2010

**Werkstoffklasse:** Keramiken

Die Studie analysiert den globalen Verbrauch keramischer dielektrischer Materialien durch Hersteller elektronischer Komponenten insbesondere im Bereich keramischer Chip-Kondensatoren. Zusätzlich wird der Markt für keramische Vielschichtkondensatoren (MLCC) beleuchtet und Prognosen über den Bedarf an Bariumtitanat werden erstellt.

Die Marktrecherche besteht aus der Analyse historischer Daten eines Zeitraumes von etwa der Mitte der 1990er Jahre bis 2006 und aus Prognosen für den Zeitraum bis 2010. Dabei fokussiert sich die Studie vor allem auf Produktion, Verbrauch und Preisgestaltung von Bariumtitanat in verschiedenen Formulierungen (oxalat, hydrothermal, solid state, sol-gel, alk-oxide).

Ein weiterer Fokus liegt auf der Entwicklung der wesentlichen Hersteller wie Ferro Corporation, Nippon Chemical Industrial, Sakai Chemical, Toho Titanium, Fuji Titanium, Kyoritsu KCM Ceramics, Samsung Fine Chemical oder Hanwha Chemical.





## Advanced Ceramics

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 226 Seiten

**Datum:** Dezember 2006

**Zeithorizont:** 2010-2015

**Werkstoffklasse:** Keramiken

Laut dieser Studie wird der Bedarf an Spezialkeramiken in den USA für den Zeitraum von 2005 bis 2010 mit einem jährlichen Wachstum von 7 % abgeschätzt und wird 2010 ein Volumen von 12,1 Mrd US\$ erreichen. Den größten Anteil nehmen mit 87 % monolithische Keramik-Werkstoffe ein. Keramische Beschichtungen machen 9 % und keramische Matrix-Komposite 4 % des Marktes aus.

Obwohl das Umfeld der Spezialkeramik-Industrie als ausgereift angesehen werden kann, spielen technologische Entwicklungen und die Entwicklung neuer Produkte und Applikationen eine große Rolle. Als Hersteller von Zulieferprodukten hängt die Branche stark von der Entwicklung der Märkte der jeweiligen Endprodukte ab. Die Anwendungsfelder gestalten sich vielfältig:

**Elektronik:** Spezialkeramiken werden in großem Umfang in elektrischer Ausrüstung und elektronischen Komponenten eingesetzt. Da 52 % aller Spezialkeramiken in diesem Bereich Verwendung finden, hat die Produktion von Mobiltelefonen, Laptops, Spielkonsolen und anderen elektronischen Geräten mit dem entsprechenden Bedarf an Halbleitern, Isolatoren, Kondensatoren, piezokeramischen Sensoren und weiteren Keramik enthaltenden Komponenten einen bedeutenden Einfluss auf die Marktentwicklung. Der Elektronikmarkt gilt als ausgereift und weitgehend gesättigt. Wegweisende neue Produktentwicklungen werden für die nächsten Jahre nicht erwartet, so dass bezüglich des Verbrauchs von Spezialkeramiken ein nur moderates Wachstum vor dem Hintergrund eines allerdings stark zyklischen Umfeldes erwartet wird.

**Transport:** Der Markt in diesem Bereich hängt wesentlich ab von der Entwicklung im Automobil- und im Aerospace-Sektor. Spezialkeramiken finden hier überwiegend Verwendung in katalytischen Konvertern (Katalysatoren), Diesel-Partikelfiltern, Maschinenlagern, Matrix-Kompositen für Bremsen etc. Eine Rolle spielen auch Panzerungen militärischer Fahrzeuge.

**Medizintechnik:** Im Medizinprodukte-Bereich ist mit Zuwächsen zu rechnen insbesondere hinsichtlich der Verwendung von Spezialkeramiken für Implantate und Prothesen. Keramische Materialien erweisen sich hier als vorteilhaft, da sie im Allgemeinen chemisch inert sind, das Ge-

webe- und Knochenwachstum befördern können und vom Immunsystem toleriert werden.

**World Carbon Black to 2011**

**Autor:** Freedonia Group

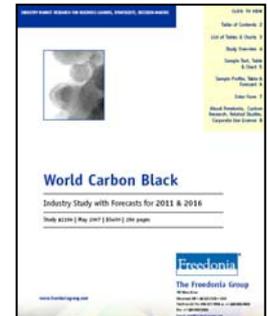
**Land/Region:** global

**Umfang:** 285 Seiten

**Datum:** Mai 2007

**Zeithorizont:** 2011

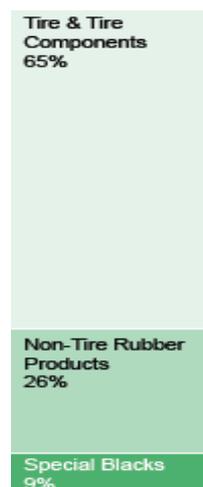
**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien; Kohlenstoffmaterialien



Die Studie analysiert das wirtschaftliche Umfeld der Herstellung von Industrieruß. Die weltweite Produktion beläuft sich derzeit auf 8,9 Mio t. Die Datenbasis bezieht sich auf die jährlichen Produktionsmengen zwischen 1996 und 2006 und schätzt den Bedarf und die Produktion bis 2011 ab. Die Hauptabsatzmärkte sind vor allem in der Reifen- und Gummiindustrie sowie in Teilen der Kunststoffindustrie zu sehen. Die Studie analysiert insbesondere 26 Länder in unterschiedlichen Weltregionen (Asien/Pazifik, Nordamerika, Westeuropa). Im Mittelpunkt stehen weiterhin Marktentwicklungen, Industriestrukturen, Firmenprofile und Marktanteile von 17 führenden Herstellern wie etwa Cabot Corporation, Degussa AG, Columbian Chemicals, Aditya Birla Group, China Synthetic Rubber, Sid Richardson und Tokai Carbon.

Die weltweite Nachfrage nach Industrieruß wird bis 2011 jährlich mit 4,2 % wachsen. Das Wachstum wird überwiegend von dem derzeit sehr lebhaften und gesunden Marktumfeld der weltweiten Gummi-Industrie getrieben. Das stärkste Wachstum wird für die Asien/Pazifik Region (ohne Japan) erwartet. Grund hierfür ist vor allem das starke Wachstum der Schwellenländer China und Indien mit der einhergehenden Erhöhung des Motorisierungsgrades und einem steigenden Bedarf an Fahrzeugreifen. Der Weltmarktanteil Westeuropas wird dagegen kontinuierlich abnehmen. Wurden 1996 noch 45 % des weltweiten Industrierußes in Westeuropa verbraucht, werden es 2011 nur noch 32 % sein.

**World Carbon Black demand**  
(8.9 million metric tons, 2006)



Der Großteil des Industrierußes wird bei der Herstellung vulkanisierter Gummiprodukte verbraucht. Die Reifenproduktion macht etwa zwei

Drittel dieses Marktes aus und wird bis 2011 zu einem Verbrauch von 7,1 Mio t Ruß führen.

Ein stärkeres Wachstum von jährlich 4,8 % wird für Spezialruße erwartet, wie sie etwa in Kunststoffen, Farben, Tinten, Tonern etc. eingesetzt werden. Derzeit machen Spezialruße nur etwa 9 % der Gesamtproduktion aus, tragen aber durch erheblich höhere Preise zu einem deutlich stärkeren Marktvolumen bei.

**Reinforced Plastics to 2011**

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 260 Seiten

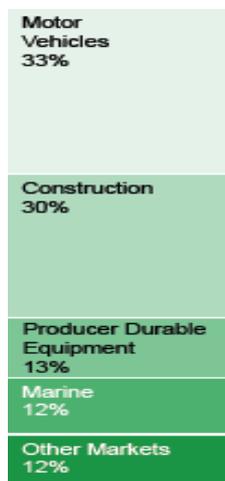
**Datum:** April 2007

**Zeithorizont:** 2011-2016

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere, Nanomaterialien

Die Studie analysiert den US amerikanischen Markt für verstärkte Kunststoffe, der sich derzeit auf ein Gesamtvolumen von 6,7 Mrd US\$ beläuft. Der Markt wird bis 2011 auf 8,1 Mrd US\$ wachsen. Die Datenbasis bezieht sich auf den Zeitraum zwischen 1996 und 2006 und schätzt den Bedarf bis 2011 bzw. 2016 ab. Betrachtet werden unterschiedliche Kunststoffklassen wie etwa Polyester, thermoplastische Polyester, Polypropylen, Nylon etc. und verschiedene Verstärkungsmaterialien wie etwa Glas- oder Kohlefasern. Die Studie analysiert zudem die Hauptanwendungsmärkte. Zu diesen zählen u. a. die Kraftfahrzeug- und die Bauindustrie.

**US Reinforced Plastics demand (3.6 billion pounds, 2006)**



In der Studie werden Marktentwicklungen, Industriestrukturen, Firmenprofile und Marktanteile der 42 führenden amerikanischen Akteure wie etwa AOC, Ashland Chemical, Reichhold, Interplastic, Hexion Specialty Chemicals, Cook Composites and Polymers etc. diskutiert.

Die US Nachfrage nach verstärkten Kunststoffen wird 2011 auf 1,9 Mio t anwachsen. Davon entfallen ca. 1,3 Mio t auf Kunststoffmaterialien und etwa 0,6 Mio t auf Verstärkungsmaterialien. Insgesamt entspricht dies einer jährlichen Steigerung um 2,8 %. Als

Treiber dieser Entwicklung werden die Ausweitung der Anwendungsfel-



der sowie eine verstärkte Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Stahl und Aluminium genannt. Den größten Marktanteil werden mit 60 % des Gesamtbedarfs Duroplasten einnehmen, während thermoplastische Materialien ein stärkeres Wachstum zeigen.

Auf der Seite der Verstärkungsmaterialien werden Glasfasern aufgrund ihrer geringen Kosten und guten Eigenschaften dominierend bleiben. Allerdings werden Kohlefasern mit 9 % jährlichem Wachstum auf etwa 15000 t im Jahr 2011 stärker steigen. Zudem sind in den nächsten Jahren starke Zuwächse für Nanomaterialien zu erwarten. Ihr Bedarf wird für 2011 auf etwa 2000 t geschätzt.

### **The Carbon Fibre Industry; Global Strategic Market Evaluation 2006-2010**

**Autor:** Tony Roberts (Materials Technology Publications)

**Land/Region:** global

**Umfang:** 295 Seiten

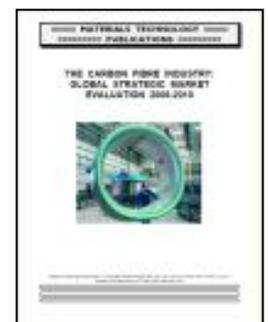
**Datum:** November 2006

**Zeithorizont:** 2006-2010

**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe/Hybridmaterialien

Die Studie analysiert den globalen Markt für Kohlefasern und kohlefaserverstärkte Kunststoffe (CFRPs) und beleuchtet verschiedene Aspekte der Kohlefaser-Branche von der Herstellung über Verfahrenstechnik bis hin zu den Endverbrauchermarkten. Die zukünftige Entwicklung bis 2010 wird auf der Basis umfangreicher statistischer Daten und wahrscheinlicher Trends abgeschätzt. Die Studie enthält eine detaillierte Darstellung aller wesentlichen CFRP-Hersteller, ihre Produktionskapazitäten und eine Einschätzung ihrer Wachstumspläne.

Seit der ersten kommerziellen Herstellung von Kohlefasern in den späten 1960er Jahren ist die globale Produktion bis auf derzeit 27000 t und einen Marktwert von 1,3 Mrd US\$ gestiegen. Für 2010 wird mit einer Produktion von 34000 t gerechnet. Der globale Markt für kohlefaserverstärkte Kunststoffe belief sich 2006 auf 9,9 Mrd US\$. Die Entwicklung des Sektors gestaltete sich in den letzten Jahren sehr dynamisch, insbesondere wegen des starken Wachstums der Luftfahrtindustrie (28 % des gesamten Kohlefaserbedarfs) und verschiedener anderer Branchen wie der Windenergie, der Offshore-Öl- und Gasförderung (Wind, Öl/Gas, Infrastruktur zusammen 50 %), dem Verteidigungsbereich oder der Sportartikel- und Life Style Branche (22 %). So werden die beiden Aerospace-Unternehmen Airbus und Boeing 2010 voraussichtlich 20 % des weltweiten Bedarfs an kurzen Kohlefasern abdecken.



Infolge dieser Entwicklungen wird der Markt für kohlefaserverstärkte Kunststoffe bis 2010 auf 13,6 Mrd US\$ ansteigen, was gegenüber den Zahlen von 2006 einen Zuwachs von 37 % bedeutet. Für 2025 wird mit Jahresumsätzen von etwa 25 Mrd US\$ gerechnet.

2006 entfielen hinsichtlich des Bedarfs an Kohlefasern 35 % auf Nordamerika, 30 % auf Europa, 15 % auf Japan und 20 % auf die restliche Welt. Während der Beobachtungsperiode 2006-2010 wird der Verbrauch an Kohlefasern um 26 % auf 7000 t ansteigen. Die wesentlichen Abnehmer bleiben die USA, Europa und Japan, allerdings zeichnet sich ein Nachfragezuwachs in Schwellenländern wie China, Taiwan, Indien, Bangladesch und Vietnam ab.

Um den steigenden Bedarf zu decken, investieren die Kohlefaserverhersteller in den kommenden drei Jahren über 800 Mio US\$ und wollen ihre Produktionskapazität um 78 % erhöhen. Infolge dieser Produktionsausweitung kann mit Preisreduktionen gerechnet werden, die Kohlefasermaterialien auch für weniger spezialisierte Anwendungen interessant machen. Hierzu gehören etwa der Automobilsektor, der Maschinenbau oder der Infrastruktur- und Versorgungsbereich

### **Growth Opportunities in the Carbon Fiber Market 2006-2011**

**Autor:** E-Composites Inc

**Land/Region:** global

**Umfang:** 482 Seiten

**Datum:** November 2006

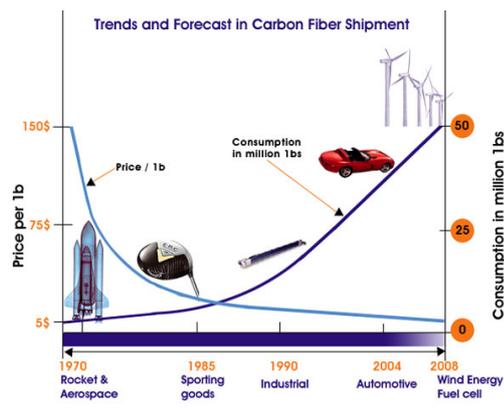
**Zeithorizont:** 2006-2011

**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe/Hybridmaterialien

Die Studie analysiert den globalen Markt sowie Herstellungsverfahren für Kohlefasern und kohlefaserverstärkte Kunststoffe. Treiber für die Entwicklung der kommerziellen Produktion, die Ende der 1960er Jahre begann, war die Luftfahrtindustrie mit ihrem Bedarf nach Leichtbaumaterialien. Inzwischen haben kohlefaserverstärkte Kunststoffe vielfältige Anwendungen gefunden. Neben dem Aerospacektor werden die Materialien verstärkt im Automobil- und Transportbereich, im Maschinenbau, in der Öl- und Gaswirtschaft und im Life-Style-Bereich eingesetzt.

Der Markt für Kohlefasern hat in den zurückliegenden zwei Jahrzehnten ein Wachstum von mehr als 10 % erfahren; die Preise waren aufgrund des steigenden Angebots und Fortschritten in den Produktionsverfahren rückläufig. Insgesamt ist der Markt aber auch durch einen schnellen Nachfragezuwachs, Materialknappheit und einem Zuwachs neuer Anwendungen gekennzeichnet

Die Studie enthält u. a. eine Aufstellung der Eigenschaften und Preisvergleiche unterschiedlicher Typen von Kohlefasern, eine Wettbewerbsanalyse der führenden Hersteller, eine Marktanalyse des weltweiten Kohlefasermarktes mit einem Fokus auf die spezifische Faserlänge sowie eine Beschreibung der Hauptanwen-derbranchen.



Entwicklung des Marktes für Kohlefasern  
(Quelle: E-Composites Inc)

Die Studie schätzt den Markt für kohlefaserverstärkte Kunststoffe bis 2011 auf 12,2 Mrd US\$.

### Opportunities in Continuous Fiber Reinforced Thermoplastic Composites 2003-2008

**Autor:** E-Composites Inc

**Land/Region:** global

**Umfang:** 240 Seiten

**Datum:** Juni 2003

**Zeithorizont:** 2003-2008

**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe/Hybridmaterialien

Der Markt für endlosfaserverstärkte thermoplastische Verbundwerkstoffe erzielt seit Anfang des Jahrzehnts ein außergewöhnliches Wachstum. So lag die weltweite Steigerung zwischen 1998 und 2003 bei 105 %. Insgesamt repräsentiert diese Entwicklung einen großen Teil des Wachstums des gesamten Kompositbereiches.

Endlosfaserverstärkte Thermoplaste werden in vielen industriellen Produkten und Vorprodukten sowie Verbrauchsgütern verwendet. Sie unterscheiden sich von anderen faserverstärkten Kompositen durch die Faserlänge und wurden in der Vergangenheit vor allem in Nischenmärkten innerhalb des Aerospace- oder des Verteidigungsbereichs eingesetzt. In den zurückliegenden Jahren kamen jedoch vielfältige Anwendungen im Automotive-, Transport- und Industriegüterbereich sowie im Life Style Sektor hinzu. Darüber hinaus erschließen sich endlosfaserverstärkten Thermoplasten auch weitere Märkte, wie etwa im medizinischen Bereich, der Möbelindustrie etc., Hauptabnehmer bleibt aber die Luftfahrtindustrie. So rechnet etwa Airbus mit einer jährlichen Steigerung des Verbrauchs thermoplastischer Komposite von etwa 20 %.

Die vorliegende Studie beschreibt vor allem die neuen Anwendungsbereiche und Märkte, die sich etwa in der Möbelindustrie, bei Schrauben, Dübeln und Befestigungen, im medizinischen oder im marinen Bereich auf tun. Analysiert werden sowohl technische Aspekte als auch die Marktsituation, die Hauptakteure, Preisentwicklungen etc.. Zudem werden 15 Herstellungsverfahren für thermoplastische Verbundstoff-Teile beschrieben.

Insgesamt gibt die Studie einen Überblick über die globale Produktion und ihre regionale und branchenmäßige Verteilung und beleuchtet die Wachstumstrends der nächsten Jahre.

### **Nanotubes for the Composites Market**

**Autor:** Cientifica Ltd

**Land/Region:** global

**Umfang:** 140 Seiten

**Datum:** August 2005

**Zeithorizont:** 2005-2010

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien, Verbundwerkstoffe/Hybridmaterialien

Die außergewöhnliche inhärente Stabilität von Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) hat in den zurückliegenden Jahren die Diskussion um deren Verwendung als Strukturmaterialien getrieben. Erste CNT-basierte Verbundwerkstoffe werden bereits verarbeitet. Dominierend ist u. a. der Sportartikel- und Life Style Bereich. Kurzfristig ergeben sich weitere Anwendungen vor allem im Bereich leitfähiger Komposite für die Aerospace-, Automobil- und Elektronikindustrie.

Die Studie gibt einen Überblick über die internationale kommerzielle CNT-Szene, die Hauptakteure sowie die Anwendungsbereiche, Chancen und Hürden für CNT-basierte Verbundwerkstoffe.

Strukturmaterialien:

- CNT-Verbundwerkstoffe stehen im Marktwettbewerb mit Kohlefasern, Kevlar, Stahlfasern und anderen Nanopartikel-Typen.
- CNT-Verbundwerkstoffe zeichnen sich durch hohe Stabilität und Elastizität aus und ermöglichen eine Reduzierung von Füllstoffen um über 75 %.
- CNT-Verbundwerkstoffe sind derzeit hinsichtlich der Materialkosten noch nicht wettbewerbsfähig gegenüber konventionellen Materialien. Die Wettbewerbsfähigkeit wird für bestimmte Anwendungen jedoch in den nächsten Jahren erreicht werden.

Leitfähige Komposite:

- Die Verwendung von CNT-Verbundwerkstoffen als Füllmaterial erlaubt eine 90 %ige Reduktion gegenüber Kohlefasern, ohne die Elastizität des Werkstoffes negativ zu beeinflussen.
- Derzeitige Volumen Anwendungen in der Automobilindustrie umfassen antistatische Materialien in Kraftstoffleitungen, Filtern, Pumpen und Tanks sowie elektrostatische Lackierungen.
- In der Elektronikindustrie werden die leitfähigen CNT-Verbundwerkstoffe für antistatische Verpackungen und elektromagnetische Abschirmungen eingesetzt.

Im Jahr 2004 wurden 65 t CNTs hergestellt, entsprechend einem Gesamtwert von 144 Mio €. Bis 2010 wird das Marktvolumen bei über 3 Mrd € erwartet. Dies entspricht einer mittleren jährlichen Steigerungsrate von mehr als 60 %.

Die Produktion wird sich verstärkt von den USA und Japan in Richtung der Asien/Pazifik-Region verlagern. China wird hier in Kürze Europa und die USA überholen; die wesentlichen Anbieter aller Typen von CNTs werden sich bis 2010 hier und in Korea befinden.

Die Preise werden im Beobachtungszeitraum um eine bis zwei Größenordnungen fallen. Dadurch werden Nanofasern und mehrwandige CNTs die Preisgrenzen für breitere Anwendungen im Markt für Verbundwerkstoffe erreichen und in zunehmende Konkurrenz zu konventionellen Materialien treten.

## World Catalysts to 2010

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** global

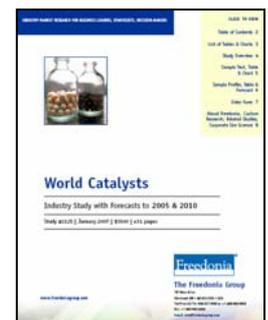
**Umfang:** 431 Seiten

**Datum:** Januar 2007

**Zeithorizont:** 2010-2015

**Werkstoffklasse:** Metalle/Legierungen; Polymere; Hybridmaterialien; Produktionstechnik

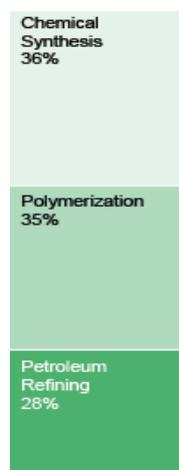
Die globale Studie beleuchtet die Hersteller von Katalysatoren und deren Marktumfeld bis zu dem Zeitraum 2010-2015. Die Ausgangsbasis bilden historische Daten der Jahre 1995 bis 2005. Davon ausgehend, werden Abschätzungen der Marktentwicklungen bis 2010 bzw. 2015 getroffen. Differenziert wird nach Katalysatormaterialien (z. B. Metalle, Edelmetalle, organometallische Verbindungen, Peroxide, Säuren, Amine, Zeolithe, Enzyme), Verfahren (z. B. chemische Synthese, Polymerisation, Öltraffinerung), Ländern und Weltregionen.



Die Studie betrachtet Marktumfeld und Industriestruktur der 35 wesentlichen Akteure, wie etwa WR Grace, Johnson Matthey, BASF, Albemarle, Royal Dutch Shell, Arkema, Basell, Borealis, Chevron, Degussa, Dow Chemical etc..

Der globale Markt wird 2010 ein Volumen von 12,3 Mrd US\$ erreichen und bis dahin jährlich mit 3,6 % wachsen. Treiber ist die weltweit steigende Nachfrage seitens der Chemie, Kunststoff und Ölindustrie nach energieeffizienteren Prozessen und Produkten.

#### World Catalyst demand by type (\$12.3 billion, 2010)



Unter den Prozessen werden chemische Synthesen die dominierende Position behalten, jedoch werden durch einen steigenden Bedarf an Kunststoffen und Polymerprodukten Polymerisationskatalysatoren das stärkste Wachstum verzeichnen. Insbesondere im mittleren Osten werden erdgasreiche Länder wie Iran und Saudi-Arabien ihre Polymerkapazitäten ausbauen.

Ein starkes Wachstum werden auch Enzyme und Biokatalysatoren insbesondere durch die verstärkte Produktion von Ethanol und Biotreibstoffen verzeichnen.

Unter den Katalysatormaterialien werden durch verstärkten Einsatz in der Kunststoffproduktion organometallische Verbindungen den größten Zuwachs aufweisen.

#### World Cement & Concrete Additives to 2010

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** global

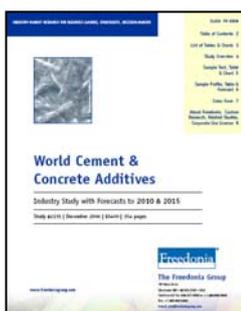
**Umfang:** 353 Seiten

**Datum:** Dezember 2006

**Zeithorizont:** 2010-2015

**Werkstoffklasse:** Beton; Fasermaterialien; Hybridmaterialien;

Die globale Studie analysiert Unternehmen der Zementherstellung und Hersteller von Betonzusätzen, sowie deren Marktumfeld bis zu dem Zeitraum 2010-2015. Das Marktvolumen belief sich im Jahr 2005 auf weltweit 8,7 Mrd US\$. Die Studie geht von historischen Daten der Jahre 1995 bis 2005 aus und prognostiziert die Marktentwicklungen bis 2010 bzw. 2015. Der Report differenziert nach unterschiedlichen Additivklassen (mineralisch, chemisch, Fasern) sowie nach Zielmärkten (z. B. Ge-



bäude, Straßenbau etc.). Es werden 24 Länder in verschiedenen Weltregionen betrachtet.

Die Studie betrachtet zudem das Marktumfeld und die Unternehmensstruktur von 34 Hauptproduzenten wie etwa BASF, Sika, Grace, CHRYSO, Headwaters, Holcim, Italcementi, Lafarge, Propex etc..

Die globale Nachfrage nach Zementprodukten und Betonzusätzen wird bis 2010 um jährlich 5,1 % wachsen und 2010 ein Volumen von über 11 Mrd US\$ erreichen. Stark steigende Nachfrage im Volumenmarkt der Zementbranche wird vor allem in China, Indien, Osteuropa und dem Nahen Osten erwartet. In den etablierteren Marktregionen Europas und Nordamerikas wird das Wachstum vor allem durch eine steigende Akzeptanz spezifischer Additive getrieben. Zudem ist eine Tendenz zu höheren Additivzugaben und teureren Produkten, wie etwa Superweichmachern auszumachen.

Bezüglich der Additivklasse wird für mineralische Zusätze das stärkste Wachstum erwartet. Die Vorteile sind insbesondere auch unter Umweltgesichtspunkten zu sehen. So werden mineralische Additive verstärkt zum Recycling von Abfallmaterial eingesetzt und tragen bei der Zementproduktion zur Reduktion des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen bei.

Einer der schnellstwachsenden Märkte für Zement- und Betonzusätze sind die USA. Hier ist eine steigende Nachfrage insbesondere nach Spezialbeton und hochwertigen Weichmachern in Baubeton zu verzeichnen.

#### World Cement & Concrete Additive demand, 2005 (\$8.7 billion)



### World Plastic Pipe to 2010

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** global

**Umfang:** 353 Seiten

**Datum:** November 2006

**Zeithorizont:** 2010-2015

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere

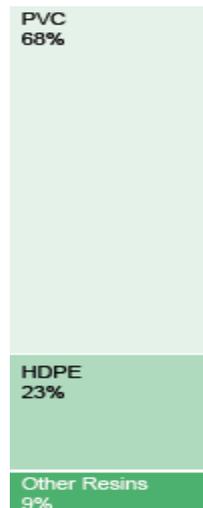
Weltweit werden derzeit etwa 6,2 Mrd Meter Kunststoffröhren hergestellt. Die vorliegende Studie analysiert Unternehmen dieser Branche sowie deren Marktumfeld bis zu dem Zeitraum 2010-2015. Der zukünftige Bedarf an Kunststoffröhren und unterschiedlichen Röhrenmaterialien



wie etwa Polyvinylchlorid oder hochdichtem Polyethylen wird für verschiedene Weltregionen und, im Einzelnen, für 24 Länder abgeschätzt. So wird die globale Nachfrage nach Kunststoffröhren bis 2010 jährlich um 4,4 % auf dann 7,7 Mrd Meter wachsen. Das entspricht etwa 18 Mio t. Das Wachstum ist somit stärker als im Vergleichszeitraum zwischen den Jahren 2000 und 2005. Gründe sind die gute konjunkturelle Entwicklung der westlichen Länder sowie das insgesamt starke Wirtschaftswachstum vieler Schwellenländer und insbesondere Chinas. Hauptanwendungen sind Leitungen für Trinkwasser, Abwasser, Drainagesysteme und Erdgasnetze.

Der größte Absolutbedarf besteht weiterhin in den entwickelten Ländern. Die Märkte in diesen Regionen sind ausgereift, jedoch vergleichsweise gesättigt, so dass das Wachstum hier unterdurchschnittlich ausfällt. Bedingt durch den verstärkten Ausbau von Versorgungsinfrastrukturen wird sich ein starkes Wachstum der Nachfrage vor allem in Asien, Osteuropa und Lateinamerika ergeben.

**World Plastic Pipe demand, 2005** (14.2 million metric tons)



Hinsichtlich der Materialien ist PVC der dominierend verwendete Kunststoff für Röhren. PVC nimmt allein etwa 2/3 des Gesamtmarktes ein. Die Vorzüge von PVC sind vor allem in niedrigen Produktionskosten, günstigen Marktpreisen, Stabilität und Haltbarkeit zu sehen, so dass die Marktposition von PVC gegenüber Nicht-Kunststoff-Materialien als aussichtsreich angesehen werden kann. Hochdichtes Polyethylen (HDPE) wird vor allem für Erdgasversorgungsleitungen mit kleinem Durchmesser eingesetzt, wie sie für die dezentrale Verteilung an Endverbraucher benutzt werden.

Die Industriestudie betrachtet das Marktumfeld und die Unternehmensstruktur von 37 Hauptakteuren wie etwa Uponer, Pipelife, Sekisui, Wavin, Formosa Plastics, Advanced Drainage Systems etc..

**World Flat Glass to 2010**

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** global

**Umfang:** 349 Seiten

**Datum:** Oktober 2006

**Zeithorizont:** 2010-2015

**Werkstoffklasse:** Glas



Die vorliegende Industriestudie analysiert die globale Flachglas-Branche, die derzeit einen Jahresumsatz von 46,6 Mrd US\$ erzielt. Gezeigt werden die Entwicklungsdaten zwischen 1995 und 2005 sowie Prognosen in dem Zeitraum 2010-2015. Die Studie untersucht im Bausektor die Märkte für Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude sowie Märkte im Fahrzeugbau und Transportgewerbe. Betrachtet wird die Entwicklung für 20 Länder in verschiedenen Weltregionen (vor allem Asien/Pazifik, Nordamerika, Westeuropa). Die Studie analysiert die Marktsituation von 22 führenden Akteuren wie Asahi Glass, Nippon Sheet Glass, Saint-Gobain, Guardian Industries etc..

Die weltweite Nachfrage nach Flachglas wird bis 2010 um jährlich 5,2 % auf 6,1 Mrd Quadratmeter steigen. Damit setzt sich der im Zeitraum 2000-2005 festgestellte Trend weiter fort. Der Marktwert des hergestellten Glases (einfaches Flachglas sowie hochwertigere Gläser, wie laminierte, getemperte, verspiegelte Gläser oder isolierende Doppelgläser) wird 2010 57,5 Mrd US\$ erreichen.

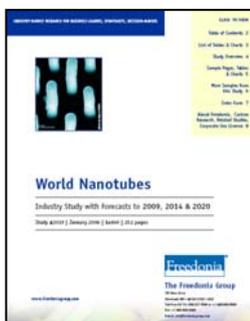
**World Flat Glass demand, 2005 (\$46,6 billion)**



Das stärkste Wachstum werden die Schwellenländer Asiens, insbesondere China und Indien verzeichnen. Unterdurchschnittlich wird das Wachstum in den entwickelten Ländern erwartet. In Nordamerika wird der im KFZ-Gewerbe zu verzeichnende Trend zu einer verstärkten Nachfrage nach Kleinwagen statt SUVs und Minivans das Wachstum abschwächen. In Westeuropa wirkt sich die stagnierende Bevölkerung hinsichtlich des Verbrauchswachstumshemmend aus.

Bedingt durch den verstärkten Trend zu Verglasungen, der Gestaltung offener Architekturen und der Nutzung von Tageslicht werden sich die größten Steigerungen im Bausektor ergeben. Hier ergibt sich ein Wachstum von 4,7 % auf fast 35 Mrd US\$ im Jahr 2010.

Starke Steigerungen werden für Spezialglasapplikationen erwartet. Hierzu sind insbesondere Sicherheitsgläser, feuerfeste und selbstreinigende Gläser oder auch programmier- und ansteuerbare "smart windows" und Bildschirmgläser zu zählen.



### **World Nanotubes to 2009**

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** global

**Umfang:** 252 Seiten

**Datum:** Januar 2006

**Zeithorizont:** 2009-2020

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien

In der vorliegenden Studie werden unter dem Begriff "Nanoröhren" Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) verstanden!

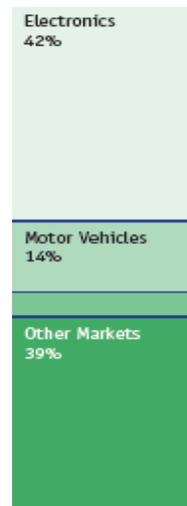
Die Studie untersucht das globale Nanoröhren-Segment, das bis 2009 auf 215 Mio US\$ geschätzt wird. Gezeigt werden die Marktentwicklungen seit 2004 sowie Prognosen für die Jahre 2009, 2014 und 2020. Die Studie differenziert nach Röhrentypen (ein- und mehrwandige) sowie nach Anwendungssektoren wie etwa Displays, Halbleiter, Healthcare, Fahrzeugbau, Aerospace, Verteidigungsbereich, Energieerzeugung und -speicherung. Betrachtet wird die Entwicklung in verschiedenen Weltregionen und in 13 nationalen Märkten. Insbesondere werden die Nanoröhrenmärkte in den USA, Frankreich, Deutschland, Japan, China, Brasilien und Russland analysiert. Der stärkste Einzelmarkt verbleibt in den USA, Japan rangiert an zweiter Stelle.

Die Studie analysiert zudem die Marktsituation und die F&E-Aktivitäten von 47 Akteuren, wie Carbon Nanotechnologies, Nanolab, Arkema, Nanocyl, Mitsui & Company, and Toray Industries etc.

Derzeitige kommerzielle Anwendungen finden sich im Kraftfahrzeugbau als Komponenten in Kraftstoffleitungen sowie in spezieller Sportausrüstung. Von dieser niedrigen Ausgangsbasis startend, wird die weltweite Nachfrage nach Nanoröhren bis 2009 ein sehr starkes Wachstum zeigen und die Schwelle von 200 Mio US\$ Jahresumsatz überschreiten. Dennoch sind eine Reihe von technischen Problemen bislang ungelöst, so dass hinsichtlich der Prognosegenauigkeit Unsicherheiten verbleiben.

Die Studie gibt den Flachbildschirmmarkt als erste kommerzialisierte Breitenapplikation an. Daneben werden weitere Elektronikanwendungen wie Transistoren, Interconnects, digitale Speichermedien etc. als aussichtsreich angesehen.

#### World nanotube demand by Market, 2009 (\$215 million)



#### World Plastics Processing Machinery to 2009

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** global

**Umfang:** 344 Seiten

**Datum:** Dezember 2005

**Prozess:** Expertenbefragung; Publikationsrecherche; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2009-2014

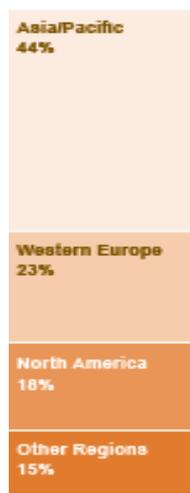
**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere; Herstellungsverfahren

Die vorliegende Industriestudie analysiert den sich derzeit weltweit auf 15,8 Mrd US\$ belaufenden Markt für Maschinen und Ausrüstung zur Kunststoffherstellung und -verarbeitung. Betrachtet wird die Marktsituation im Zeitraum zwischen 1994 und 2004. Die Prognosen reichen bis 2009 bzw. 2014.

Die Studie differenziert nach Verfahren (Spritzguss, Extrusion, Blasformen, Thermoformierung etc.) sowie nach hauptsächlichen Anwendungen, wie etwa Verpackungen, Verbrauchsgüter, Investitionsgüter, Bauanwendungen etc.. Betrachtet wird die Situation in sechs Weltregionen und 29 nationalen Märkten.

Die Studie analysiert zudem die Marktsituation und die Profile von 36 größeren Herstellern, wie Mannesmann Plastics Machinery, Husky Injection

**World Plastic Processing Machinery demand, 2009**  
(\$18.8 billion)



Molding Systems, Japan Steel Works, Sumitomo, Engel, SMS, Milacron.etc.

Die globale Nachfrage nach verfahrenstechnischer Ausrüstung wird bis 2009 jährlich um etwa 3,5 % auf 18,8 Mrd US\$ wachsen.

Wesentliche Zuwächse werden in China, Indien und Russland gesehen. So wird der chinesische Markt 2009 allein etwa ein Fünftel des Weltmarktes ausmachen. Nach schwächerer Marktsituation in den vergangenen Jahren zeigen sich Japan und die USA in den nächsten Jahren wieder stärker.

Hinsichtlich der einzelnen Verfahren werden die Märkte für Extrusions- und Thermoformierungsausrüstung am stärksten wachsen. Wesentlicher Treiber dieser Entwicklung ist die sich weltweit verstärkende Baukonjunktur.

### World Thermoplastic Elastomers to 2009

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** global

**Umfang:** 331 Seiten

**Datum:** November 2005

**Prozess:** Expertenbefragung; Publikationsrecherche; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2009-2014

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere

Die vorliegende Industriestudie untersucht den sich derzeit weltweit auf 8 Mrd US\$ belaufenden Markt für thermoplastische Elastomere (TPE). Betrachtet wird die Marktsituation im Zeitraum zwischen 1994 und 2004 sowie für den Prognosezeitraum 2009 bis 2014.

Die Studie differenziert nach Hauptanwendungsmärkten, wie etwa Kraftfahrzeuge, Industriegüter, Bekleidung, Klebe- und Dichtmittel, Asphalt und Bitumen, Konsum- und Sportgüter, Kabel, Medizinprodukte etc..

Betrachtet wird die Situation in sechs Weltregionen und in 14 größeren Ländern.

Die Studie analysiert zudem die Marktsituation und die Profile von 36 größeren Herstellern wie Kraton Polymers, Dow Chemical, Advanced Elastomer Systems, Total, Repsol, Lee Chang Yung, BASF etc..

Die globale Nachfrage nach thermoplastischen Elastomeren wird bis 2009 jährlich um etwa 6,2 % auf 3.1 Mio Tonnen wachsen. Das entspricht einem Marktwert von 11,4 Mrd US\$. Treiber dieser Entwicklung ist u. a. die direkte Verdrängung anderer Materialien (Naturkautschuk, synthetische Gummiprodukte etc.) durch TPEs sowie das sich verbreitende flächige Aufspritzen von Schichtstrukturen aus TPE auf Hartplastik oder Metall.

Die stärksten Zuwächse werden in China und Indien gesehen. Dennoch werden die entwickelten Länder in Nordamerika, Westeuropa und Fernost auch in den nächsten Jahren in einer dominierenden Marktposition bleiben.

**World TPEs demand by region, 2009** (3.1 million metric tons)



### **World Nanomaterials to 2008**

**Autor:** Freedonia Group

**Land/Region:** global

**Umfang:** 439 Seiten

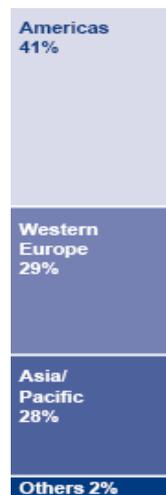
**Datum:** März 2005

**Prozess:** Expertenbefragung; Publikationsrecherche; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2008-2020

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien

**World Nanomaterial demand** (\$3.7 billion, 2008)



Die vorliegende Studie untersucht die Branchenstruktur von Unternehmen, die Nanomaterialien herstellen oder verarbeiten. Ausgangspunkt ist die historische Nachfrageentwicklung seit dem Jahr 2000. Die getroffenen Prognosen beziehen sich auf die Jahre 2008, 2013 und 2020. Die Studie differenziert nach Nanomaterial-Typen, wie Oxiden, Metallen, Nanoröhren, Mineralien, Polymeren, Dendrimeren, Quantenpunkten etc., sowie nach Marktregionen. Betrachtet werden hier sechs Weltregionen und 14 Länder. Die Studie analysiert weiterhin das Marktumfeld und die Profile von 200 Unternehmen, die im Bereich der Nanomaterialien tätig

sind. Hierzu gehören u. a. BASF, DuPont, Carbon Nanotechnologies, Oxonica etc..

Die globale Nachfrage nach Nanomaterialien wird sich bezogen auf das Jahr 2005 bis 2008 verfünffachen und ein Volumen von 3,7 Mrd US\$ erreichen. Bis 2020 wird ein Marktvolumen von etwa 90 Mrd US\$ erwartet. In der näheren Zukunft entfallen dabei die Hauptanteile auf nanoskalige Metalle und Oxide. Längerfristig werden stark steigende Marktanteile neuer Nanomaterialien, wie Dendrimere oder Nanotubes erwartet.

Laut Studie erscheinen Nanomaterialien längerfristig vor allem aussichtsreich im medizinisch-pharmazeutischen Bereich, in der Umwelt- und Versorgungstechnik sowie im Bereich der Elektronik und der Energieerzeugung und -speicherung. Kurzfristig stehen eher Anwendungen im Baubereich (etwa kratzfeste Materialien oder selbstreinigende Oberflächen etc.) und bei Kompositmaterialien (etwa life style- und Sportartikel) im Vordergrund.

Die kommerzielle Verwendung von Nanomaterialien als neuer und derzeit noch sehr forschungsintensiver Materialklasse erstreckt sich zunächst vor allem auf die entwickelten Weltregionen. Die USA bleiben auch längerfristig der größte Einzelmarkt gefolgt von der EU (hier vornehmlich D, F und UK) und Ostasien (Japan, Korea, Taiwan). Längerfristig wird der chinesische Markt für Nanomaterialien, vor allem durch sich dorthin verlagernde Elektronikproduktion an Bedeutung gewinnen.

---

**Advanced Ceramics and Nano Ceramic Powders****Autor:** Andrew McWilliams (BCC research)**Land/Region:** USA**Umfang:** 290 Seiten**Datum:** Dezember 2006**Prozess:** Expertenbefragung 200 Personen aus 150 Unternehmen; Publikationsrecherche; Datenbankabfrage**Zeithorizont:** 2011**Werkstoffklasse:** Keramiken, Nanomaterialien

Spezialkeramiken beruhen in der Herstellung überwiegend auf ausgereiften Verfahren und haben ein breites und weiter wachsendes Anwendungspotenzial insbesondere auch hinsichtlich der Verwendung in Kompositmaterialien. Spezialkeramiken sind anorganische, nicht-metallische Materialien, die eine Vielzahl komplexer Zusammensetzungen etwa hinsichtlich Reinheitsgrad, feinskaliger Mikrostrukturierung, Kristallstrukturen oder definierter Additive aufweisen können. Die Herstellung von Spezialkeramiken erfordert ein Prozess- und Fertigungs-Know-How, das erheblich über die Produktion konventioneller Keramiken hinausreicht. Die spezifischen Eigenschaften hängen von einer Reihe von Prozessschritten ab. Hierzu zählen u. a. Pulversynthese, Pulvergröße, Flusskontrolle, Sinterung etc..

Neue Hochleistungskeramiken haben mittlerweile ein Marktvolumen von mehreren Mrd US\$ in den USA erreicht. Sie stellen eine Schlüsseltechnologie dar, die für ein breites Feld weiterer Hochtechnologien, wie etwa Mikroelektronik, Supraleitung oder Nanotechnologie von Bedeutung ist.

Keramische Pulver stellen einen wichtigen Zusatz- bzw. Ausgangsstoff für Strukturkeramiken, elektronische Keramiken, keramische Beschichtungen, sowie für unterschiedliche chemische Prozesse dar, der von entscheidender Bedeutung für die Eigenschaften der herzustellenden Spezialkeramik-Komponenten ist. Als wichtige Pulvereigenschaften gelten die chemische Reinheit, die Partikelgrößenverteilung und die Partikelanordnung bzw. Beschaffenheit im metallurgischen "Form-Grünling" vor der Sinterung. So erlaubt etwa eine schmale Größenverteilung von nanoskaligen Pulvern geringere Sintertemperaturen. Somit besteht ein steigender Bedarf nach Herstellungsverfahren hochreiner, sub-mikrometrischer Keramikpulver. Im Vergleich zu konventionellen Produktionsverfahren ist die Herstellung nanoskaliger Pulver derzeit jedoch noch erheblich teurer.

Nanokeramische Pulver stellen einen wichtigen Teil des Marktes für nanostrukturierte Materialien dar. Sie werden in unterschiedlichen Anwendungen etwa in der Mikroelektronik, für optische Beschichtungen, im Chemie- und Umweltbereich oder für magnetische Datenspeicher eingesetzt.

Die Studie gibt einen Überblick über keramische Spezialpulver und nanoskalige keramische Pulver, ihre Herstellungsverfahren und Anwendungen. Beleuchtet werden technologische und wirtschaftliche Hürden der kommerziellen Produktion sowie gegenwärtige und zukünftige Entwicklungen insbesondere des US-Marktes. Die Studie enthält u. a. eine umfangreiche Analyse der Patentsituation und eine Übersicht über die wesentlichen US-Hersteller.

Seit etwa 20 Jahren wird an der Entwicklung von Produktionsverfahren zur Herstellung hochreiner und nanoskaliger keramischer Pulver gearbeitet. Effiziente Herstellungsverfahren sind eine Voraussetzung für die kommerzielle Produktion kostengünstiger Keramikpulver und haben entscheidenden Einfluss auf das zukünftige Wachstum der Spezialkeramik-Branche im 21. Jahrhundert.

Der Gesamtmarkt für Keramikpulver in den USA belief sich im Jahr 2006 auf 2,2 Mrd US\$ und wird für 2011 auf 3,4 Mrd US\$ abgeschätzt, was einem jährlichen Wachstum von 8,9 % entspricht.

Der auf den Handelswert bezogene Anteil nanoskaliger Pulver wird sich im Prognosezeitraum von 9,5 % auf 17,7 % erhöhen.

### **Powder Metallurgy**

**Autor:** Bob Moran (BCC research)

**Land/Region:** global; Vergleich von Weltregionen

**Umfang:** 195 Seiten

**Datum:** Mai 2007

**Prozess:** Expertenbefragung in 125 Unternehmen; Publikationsrecherche; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2011

**Werkstoffklasse:** Keramiken, Metalle

Pulvermetallurgie ist ein etablierter Wirtschaftszweig, der seit den 1980er Jahren ein starkes Wachstum verzeichnete. Zurückzuführen ist die angestiegene Nachfrage auf den zunehmenden Ersatz von Guss- und Schmiedeteilen durch pulverbasierte, gesinterte Formteile, die die Qualitätsanforderungen der verarbeitenden Industrie erfüllen und zudem kostengünstiger produziert werden können. Größter Abnehmer pulvermetallurgischer Formteile ist mit 73 % der Automobilbereich. Mithin ist die Pulvermetallurgie sehr abhängig von dieser Branche und verzeichnet eine ähnliche wirtschaftliche Gesamtentwicklung mit stagnierenden Absätzen in den Industrienationen und wachsendem Umfang in den Schwellenländern. Unter Nutzung technologischer Innovationen, wie etwa dem verstärkten Einsatz nichtmetallischer oder teilmetallischer Pulver können dennoch moderate Wachstumsraten verzeichnet werden.

---

Die Studie beleuchtet die wesentlichen, für pulvermetallurgische Formteile relevanten Produktionstechnologien und schätzt die zukünftige Entwicklung des Pulvermetallurgie-Marktes unter Einbeziehung neuer Materialien, wie Keramiken, Keramikfasern und intermetallischer Verbindungen ab. Betrachtet werden verschiedene Anwendungsfelder, wie der Automobilbereich, Werkzeuge, Industriemaschinen, Haushaltsgeräte etc..

Bis 2011 wird der Markt für metallurgische Pulver mit 5,9 Mrd US\$ pro Jahr abgeschätzt, der Markt für Formteile aus pulvermetallurgischen Materialien erreicht ein Volumen von 15,9 Mrd US\$.

Die Auslieferung von Eisen- und Stahlpulvern wird um 4,6 % jährlich wachsen und auch der Verkauf von Aluminiumpulver wird ansteigen. Weiter ansteigen wird auch der Verbrauch neuer Materialien besonders im Automobilsektor sowie im Bereich der Energiespeicherung.

### **Lightweight Materials in Transportation**

**Autor:** Andrew McWilliams (BCC research)

**Land/Region:** global; Vergleich von Weltregionen

**Umfang:** 176 Seiten

**Datum:** Mai 2007

**Prozess:** Expertenbefragung; Publikationsrecherche; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2011

**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe/Hybridmaterialien, Metalle

Gewichtsreduktion ist einer der wesentlichsten Wege zu Verbrauchsreduktion und Leistungssteigerung bei Automobilen sowie generell bei motorisierten Fahrzeugen. So stehen etwa 75 % des Treibstoffverbrauchs eines Fahrzeuges in direkter Beziehung zu dessen Gesamtgewicht. Technologien zur Gewichtsreduktion sind zudem entscheidend für den Erfolg neuer effizienter Fahrzeugtechnologien, wie etwa der Hybridantriebe.

Die erste Möglichkeit der strukturellen Gewichtsreduktion besteht in der schlichten Verkleinerung von Fahrzeugen, was jedoch aus Praktikabilitäts- und Sicherheitsgründen sowie der Berücksichtigung von Kundeninteressen oft nur in begrenztem Umfang realisierbar ist. Eine Alternative stellt der Einsatz leichtgewichtiger Materialien dar, die die entsprechenden Anforderungen hinsichtlich Stabilität, Flexibilität etc. erfüllen. Leichtgewichtige Materialien (z. B. Al-Legierungen) wurden in großem Stil zuerst in der Luftfahrtindustrie eingesetzt. Diese bereits in den 1920er Jahren beginnende Entwicklung erfährt ihre derzeitige Fortsetzung in der Adaption leichter Kompositmaterialien. Andere Branchen, wie etwa der Automobilbereich zogen in moderaterem Entwicklungstempo nach. So war in den 1990er Jahren ein verstärkter Einsatz von A-

Aluminium-Werkstoffen im Automobilbau zu verzeichnen, während derzeit in wachsendem Umfang Kompositmaterialien verbaut werden. Infolge dieser Entwicklung werden Komposite in den kommenden Jahren Aluminium-Werkstoffe im Automobilsektor zurückdrängen.

Der weltweite Verbrauch leichtgewichtiger Materialien im Transportbereich wird von 42,8 Mio t und 80,5 Mrd US\$ im Jahr 2006 auf 68,5 Mio t und 106,4 Mrd US\$ im Jahr 2011 ansteigen. Die jährliche Wachstumsrate beträgt im Beobachtungszeitraum (2006-2011) laut Studie 9,9 % bezüglich der Menge bzw. 5,7 % bezüglich des Wertes.

Den größten Mengenanteil stellen hochfeste Stähle gefolgt von Aluminium und Kunststoffen. Aufgrund des vergleichsweise hohen Preisniveaus kommt Kunststoffen jedoch den größten Wertanteil vor hochfestem Stahl und Aluminium zu. Die größten Endnutzermärkte für Leichtbaumaterialien bilden PKW und leichte Nutzfahrzeuge. Mit größerem Abstand folgen Schiffbau und Luftfahrtindustrie.

Die Studie beleuchtet die Entwicklung der Märkte für Hightech Leichtbaumaterialien und quantifiziert die verschiedenen Marktsegmente. Diskutiert werden zukünftige Anwendungsfelder (Aerospace, Automobil, Nutzfahrzeuge, Massentransportmittel, Container etc.) für Metalle, Legierungen, Metallmatrix-Komposite, thermoplastische Kunststoffe, Polymermatrix-Komposite, Hybridstrukturen etc..

### **Carbon Nanotubes: Technologies and Commercial Prospects**

**Autor:** John Oliver (BCC research)

**Land/Region:** global; Vergleich von Marktsegmenten

**Umfang:** 291 Seiten

**Datum:** März 2007

**Prozess:** Expertenbefragung; Publikations- und Patentrecherche; Pressemitteilungen; Datenbankabfrage

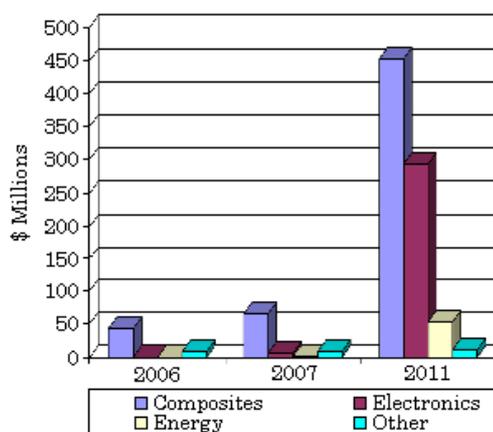
**Zeithorizont:** 2011

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien

Unter der Vielzahl neuer, synthetisierter Nanomaterialien stellen Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) den wohl prominentesten Vertreter dar. Die Entwicklung von Herstellungs- und Anordnungsverfahren sowie von Anwendungsfeldern für Kohlenstoff-Nanoröhren gestaltete sich in den zurückliegenden Jahren sehr dynamisch und lässt sich auch auf die nähere Zukunft extrapolieren. Viele Forschungsinstitutionen, kleine und mittlere Unternehmen und große Industrieunternehmen werden verstärkt die Möglichkeiten neuer Applikationen und kommerzieller Verwertungen untersuchen.

Das Wachstum des Kohlenstoff-Nanoröhren Bereiches gründet sich auf verschiedene Umfeldbedingungen. So werden inzwischen CNTs verstärkt auch in großtechnischem Maßstab hergestellt und zu immer kostengünstigeren Preisen angeboten. Zusätzlich ist vor allem in den USA eine verstärkte Ausgründung neuer "Universitäts-Spin-Offs" im Nanotechnologiebereich zu verzeichnen, die eine Vielzahl neuer Anwendungsmöglichkeiten für CNT-Materialien und -Produkte aufzeigen. Auch größere Industrieunternehmen erkennen in verstärktem Maße die zukünftigen Marktpotenziale von CNT-Produkten und zeigen Präsenz in diesem Bereich. Ein Indiz dieser Entwicklung kann im Patentaufkommen der zurückliegenden Jahre gesehen werden, das sich zwischen 2004 und 2006 auf etwa 600 verdreifacht hat. Noch deutlicher ist die Situation bei den Patentanmeldungen. Inzwischen befinden sich 4500 Anmeldungen in der "Warteschlange".

Insgesamt prognostiziert die Studie einen stark steigenden Markt sowohl für CNT-Produktionstechnologien, als auch für CNT-basierte Anwendungen. So betrug das globale Marktvolumen für Kohlenstoff-Nanoröhren im Jahr 2006 50,9 Mio US\$ und wird 2007 bei 79,1 Mio US\$ erwartet. Bei jährlichen Wachstumsraten von



73,8 % wird der boomende Markt bis 2011 ein Volumen von 807,3 Mio US\$ erreichen. Die wesentlichen Anwendungsfelder werden im Bereich der Kompositmaterialien, im Energiebereich (Energiespeicher) und in der Elektronik gesehen. Auf Kompositmaterialien entfällt mit 80 % der weltweiten CNT Produktion der mit Abstand größte Anteil. Er erreichte 2006 ein Volumen von 43 Mio US\$ und wird bis 2011 auf 451,2 Mio US\$.

CNTs im Energiebereich dagegen spielten 2006 noch keine große Rolle. Gerade in diesem Segment werden allerdings außerordentlich große Wachstumsraten von über 300 % erwartet, so dass sich das Marktvolumen im Jahr 2011 auf 53 Mio US\$ belaufen wird

Die Studie gibt neben einer Einführung in die Grundlagen der Technologie und der Diskussion wichtiger technologischer Durchbrüche einen Überblick über den globalen Markt und die Marktsegmente für Kohlenstoff-Nanoröhren und über die wesentlichen Akteure insbesondere im Unternehmensbereich.

**The Global Market for Fullerenes****Autor:** Donald Saxman (BCC research)**Land/Region:** global;**Umfang:** 294 Seiten**Datum:** Oktober 2006**Prozess:** Expertenbefragung; Publikations- und Patentrecherche; Datenbankabfrage**Zeithorizont:** 2016**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien

Fullerene als zusätzliche Modifikationsformen des Kohlenstoffs wurden in den 1980er und 1990er Jahren entdeckt und seither umfangreich erforscht. Bislang wurden viele Anwendungen diskutiert.

Die Studie beleuchtet die Marktpotenziale dieser neuen Materialklasse, die hier sehr weit gefasst wird und neben den sphärischen C<sub>60</sub>-Fullerenen auch Nanoröhren, Graphen, nanoskalige Graphitlagen, Wannen- und Käfigstrukturen beinhaltet. Durch die Verbesserung der Synthesetechniken werden Fullerene in den nächsten 10 Jahren als Spezialmaterial zwar hochpreisig, jedoch allgemein erhältlich sein.

Daneben werden die Grundlagen der Fulleren-Chemie beschrieben. Die Studie gibt einen Überblick über die Synthesetechnologien sowie die Eigenschaften und Funktionalitäten der Materialklasse. In verschiedenen Szenarien werden die kurz- und langfristigen Marktpotenziale abgeschätzt. Zudem gibt die Studie einen Überblick über Akteure und Unternehmen sowie die Patentlage im Fullerenbereich.

Der globale Markt für Fullerene belief sich im Jahr 2005 auf 60 Mio US\$ und wuchs 2006 auf 92 Mio US\$. Laut der Studie wird sich das Marktvolumen bis 2011 auf 1312 Mio US\$ erhöhen und kann bis 2016 Werte von über 4,7 Mrd US\$ erreichen. Das Segment der Energiespeicherung (Verwendung von Fullerenen in Batterien, Brennstoffzellen, Superkondensatoren, Solarzellen oder Schwungradspeichern) macht anteilig das größte Sub-Segment aus und beläuft sich derzeit auf 19 Mio US\$. Hier wird ein Anstieg des Marktvolumens auf 205 Mio US\$ bis 2011 erwartet. Die Entwicklungen sowohl in Technologie als auch in der Produktion werden im Wesentlichen von den USA und Japan dominiert. In den nächsten Jahren werden jedoch vor allem Südkorea und China aufschließen können.

## Bioactive Glasses, Ceramics, Composites, other Advanced Materials

**Autor:** Margareth Gagliardi (BCC research)

**Land/Region:** global; Vergleich verschiedener Weltregionen

**Umfang:** 207 Seiten

**Datum:** Oktober 2006

**Prozess:** Expertenbefragung; Publikations- und Patentrecherche; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2011

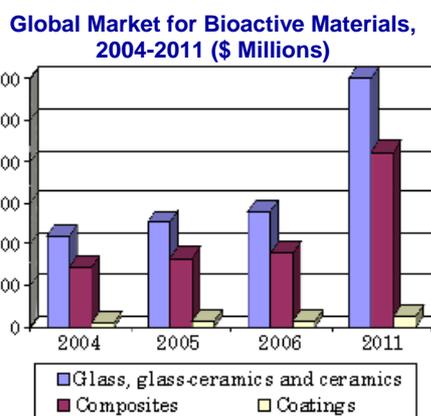
**Werkstoffklasse:** Keramiken, Verbundwerkstoffe/Hybridmaterialien

Bioaktive Materialien werden in unterschiedlichen Wirtschaftssektoren eingesetzt. Applikationen ergeben sich etwa in medizinischen, zahnmedizinischen, biologischen, biotechnologischen, pharmazeutischen und kosmetischen Bereichen.

Die Studie beschreibt verschiedenen Typen bioaktiver Materialien (Gläser, Glas-Keramik, Keramik, Komposite etc.), ihre Herstellungsverfahren, Formulierungen, Testverfahren usw. und identifiziert derzeitige und potenzielle zukünftige Anwendungsfelder. Daneben werden die Profile von wesentlichen Unternehmen gezeichnet, die bioaktive Materialien herstellen und/oder verbrauchen. Insbesondere werden öffentliche und kommerzielle Forschungsaktivitäten in verschiedenen Weltregionen sowie zu erwartende Markttrends untersucht.

Der globale Markt für bioaktive Materialien wuchs von 377,7 Mio US\$ im Jahr 2004 über 431,4 Mio US\$ im Jahr 2005 auf 473,9 Mio US\$ im Jahr 2006. Bei jährlichen Steigerungsraten von 17,2 % wird bis 2011 voraussichtlich die 1 Mrd US\$ Grenze überschritten. Den größten Marktanteil über die gesamte Prognoseperiode nehmen Glas und Glas-Keramiken ein. 2004

und 2005 belief sich ihr Anteil auf 58 %, 2006 erreichte der Sektor 60 %. Für Glas und Glas-Keramiken wird bis 2011 eine jährliche Wachstumsrate von 16,5 % auf ein Volumen von 600 Mio US\$ erwartet. Die größte Wachstumsrate von 18,5 % wird für bioaktive Kompositmaterialien erwartet. Das Marktvolumen soll bis 2011 423,3 Mio US\$ erreichen.



## Plastics in Electronic Components

**Autor:** Mel Schlechter (BCC research)

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 200 Seiten

**Datum:** September 2006

**Prozess:** Expertenbefragung; Publikations- und Patentrecherche; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2011

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere

Die Studie enthält einen detaillierten Marktüberblick über Kunststoffe in elektronischen Komponenten und behandelt insbesondere auch an die Erfordernisse der Elektronikindustrie angepasste Spezialharze, wie sie in Komponenten für Computer, Telekommunikationstechnik, Multimedia etc. zum Einsatz kommen. Untersucht werden technologische und Markttrends für Nordamerika über die nächsten fünf Jahre.

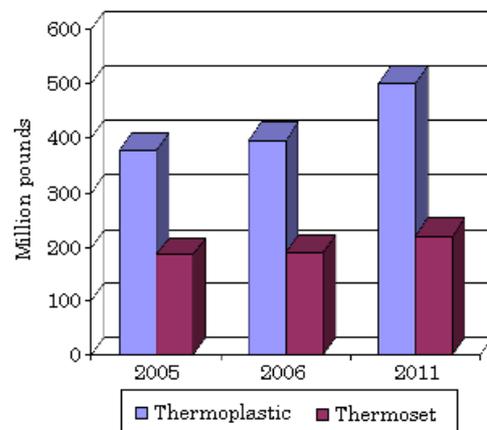
Ein wichtiger technologischer Entwicklungsfaktor ist in der zunehmenden Miniaturisierung zu sehen. Die Erzeugung dünnwandigerer Formteile, höhere Löttemperaturen und bleifreie Löttechniken sind derzeit die

wesentlichen Optimierungsparameter, die bei der Wahl der Kunststoffe entscheidend sind. Erforderlich sind hier verstärkt Materialien mit guten Wärmeableitungseigenschaften und hohen Glasübergangstemperaturen (organische Gläser) bei zugleich niedriger Dielektrizitätskonstante.

Der nordamerikanische Verbrauch an Thermoplast- und Duroplast-Material in elektronischen

Komponenten lag 2006 bei etwa 265000 t und wird bei jährlichen Steigerungsraten von 4,3 % für 2011 bei etwa 317000 t erwartet.

Die mit 4,8 % höhere Wachstumsrate entfällt dabei auf Thermoplasten. Hier wird der Gesamtverbrauch von 180000 t im Jahr 2006 auf 226000 t im Jahr 2011 steigen.



## Sol-Gel Processing of Ceramics and Glass

**Autor:** Thomas Abraham (BCC research)

**Land/Region:** global; Vergleich USA mit anderen Weltregionen

**Umfang:** 385 Seiten

**Datum:** Juni 2006

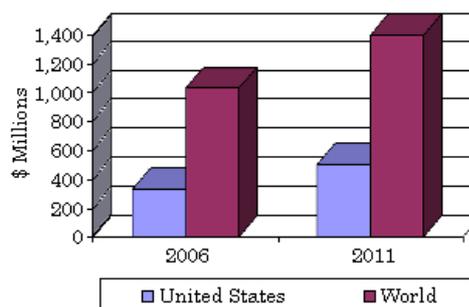
**Prozess:** Expertenbefragung; Publikations- und Patentrecherche; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2011

**Werkstoffklasse:** Keramiken, Verbundwerkstoffe/Hybridmaterialien, Herstellungsverfahren, Produktionstechnik

Die Sol-Gel-Methode ist ein verbreitetes und kostengünstiges Verfahren zur Präparation von mono- und multikomponentigen Gläsern und Keramiken, die mit anderen Verfahren teilweise nur schwer oder gar nicht herzustellen sind. Der Vorteil besteht in der Verwendung homogener flüssiger Lösungen und der Möglichkeit, Gele bei Raumtemperatur zu erzeugen. Die Bezeichnung "Sol-Gel" bezieht sich generell auf Nieder-temperaturverfahren zur Herstellung von Gläsern und Keramiken unter Einsatz von Prekursoren. Oft können für das Endmaterial höhere Reinheitsgrade und größere Homogenität erreicht werden, als dies mit konventionellen Hochtemperaturverfahren möglich wäre. Sol-Gel-Prozesse werden zur Herstellung einer Vielzahl von Materialien (häufig Oxide) in verschiedenen Ausformungen angewendet. Hierzu gehören beispielsweise Pulver, Fasern, Beschichtungen und Dünnschichten, Monolithe und Komposite, poröse Membranen etc.. Daneben können auch organisch/anorganische Hybridmaterialien erzeugt werden, bei denen ein Gel (häufig Kieselgel) zur Erzielung spezifischer Eigenschaften mit Polymeren oder organischen Farbstoffen imprägniert wird. Zahlreiche Materialkompositionen, die auf Sol-Gel-Prozesse zurückgehen, können mit anderen Verfahren nicht hergestellt werden. Ein weiterer Vorzug besteht in der Beibehaltung des Mischungsverhältnisses der Ausgangslösung im Endprodukt auf der molekularen Skala.

Die Studie enthält einen Überblick über verschiedene Produkte, die im Sol-Gel-Verfahren hergestellt werden. Es werden technologische und kommerzielle Hürden bezüglich der großtechnischen Produktion dargestellt. Insbesondere wird die Situation des Sektors in den USA mit den Entwicklungen in anderen Weltregionen verglichen. Die Studie enthält zudem die Kurzprofile US-amerikanischer Institutionen und Firmen, die Sol-Gel-Technologie entwickeln oder im Sol-Gel-Verfahren hergestellte



Produkte vermarkten, sowie einen Überblick über entsprechende Institutionen in anderen Weltregionen.

Das globale Marktvolumen für Sol-Gel-Produkte belief sich 2006 auf 1 Mrd US\$. Bis 2011 wird mit einem Anstieg auf 1,4 Mrd US\$ gerechnet. Die jährliche Wachstumsrate zwischen 2006 und 2011 beträgt 6,3 %.

Der US Markt wird im gleichen Zeitraum bei einem Wachstum von 8,7 % pro Jahr ein Volumen von 500 Mio US\$ erreichen. Somit wird sich der US-Anteil am Gesamtmarkt von derzeit 32 % auf etwa 36 % moderat erhöhen.

Das am schnellsten wachsende Teilsegment werden mit jährlichen Steigerungsraten von 12 % bis 12,5 % optische und elektronische Anwendungen ausmachen.

### **Advanced Glasses & Glass Ceramics**

**Autor:** Calvin Swift (BCC research)

**Land/Region:** USA im globalen Vergleich

**Umfang:** 248 Seiten

**Datum:** März 2006

**Prozess:** Expertenbefragung; Publikationsrecherche; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2010

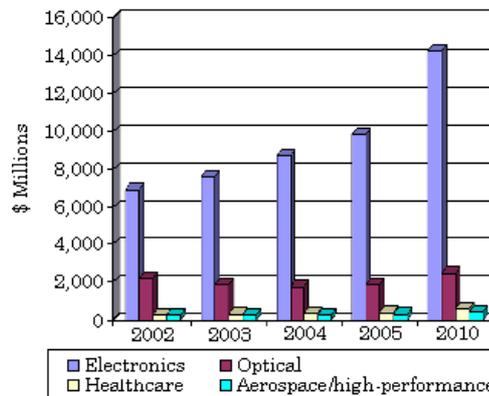
**Werkstoffklasse:** Keramiken, Gläser

Spezialgläser und Keramiken werden in einer Vielzahl von Technologiebereichen eingesetzt. Im Unterschied zu konventionellen Gläsern enthalten Spezialgläser spezifische Zusätze oder bestehen generell aus speziellen Kompositen und erfordern neue Herstellungsverfahren. Das Komponentenspektrum dieser Spezialgläser umfasst etwa Quarzglas, Kieselsäureverbindungen, Borosilikate, Phosphate, Germanate, Chalkogenide, ionisches Glas (wie Halogenide, Nitrate, Sulfate und Karbonate) und Glaskeramik. Ähnlich weit gestaltet sich das Spektrum potenzieller Anwendungen. Überwiegend werden sie für elektronische Displays, optische Fasern, dünne Beschichtungen, optische Datenspeicher, in Hochleistungskompositen, in medizinischen Implantaten oder in der Strahlungsabschirmung eingesetzt

Die Studie gibt einen Überblick über den globalen Markt für Spezialglas und Glaskeramik, der zwischen 2005 und 2010 von 11,1 Mrd US\$ auf voraussichtlich 17,6 Mrd US\$ anwachsen wird. Dies entspricht einem jährlichen Wachstum von 7,3 %. Zwischen 2004 und 2005 stieg der Markt sogar um 12 % bedingt durch starke Verkäufe vor allem im Flachbildschirmbereich (LCD-, Plasma-Monitore etc.), aber auch durch einen steigenden Bedarf nach optischen Fasern und Spezialoptiken. Eine Fortsetzung dieser Trends kann für die nächsten Jahre erwartet werden.

In der Studie werden zudem Spezialglasmaterialien, ihre Produktionstechnologien und Anwendungen diskutiert und technologische und kommerzielle Hürden bezüglich der Massenproduktion dargestellt. Die Studie enthält eine ausführliche Darstellung der nordamerikanischen Hersteller von Spezialgläsern und Keramiken und beleuchtet ihre Position im globalen Wettbewerbsumfeld.

**Global Forecast Of glass and Ceramic Use by Application, 2002-2010**



Hier ist infolge der Globalisierung und der verstärkten Abwanderung von produzierenden Kundenunternehmen nach Fernost eine signifikante Umschichtung der Industriestrukturen zu verzeichnen. Häufig werden in den USA vor allem die innovativen und forschungsintensiven Bereiche der Branche verstärkt, was mittlerweile zu einem trotz des schwierigeren Marktumfeldes robusten Wachstum führt.

### **Green Materials for Electrical, Electronic and other Applications**

**Autor:** Margareth Gagliardi (BCC research)

**Land/Region:** global; regionale Vergleiche

**Umfang:** 262 Seiten

**Datum:** Februar 2006

**Prozess:** Expertenbefragung u. a. in 195 Produktionsunternehmen "grüner Materialien"; Publikationsrecherche; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2010

**Werkstoffklasse:** Biomaterialien/Naturstoffe, Metalle/Legierungen, Verbundwerkstoffe

Im Zuge der weltweit steigenden Sensitivität für gesundheits- und umweltbezogene Themen und nachhaltiger Wirtschaftsformen gewinnt der Ersatz gesundheitsgefährdender Stoffe, wie etwa Blei, Cadmium, hexavalentes Chrom, polybromierte Biphenyle etc. in industriellen Anwendungen zunehmend an Bedeutung. Durch die verstärkte Einführung umweltpolitischer Regelungen und Direktiven sind Hersteller zunehmend gezwungen, Ersatzmaterialien einzusetzen, die sowohl Herstellungsrisiken minimieren als auch eine gleichbleibende Produktqualität gewährleisten.

Die vorliegende Studie untersucht das weltweite Marktumfeld "grüner Ersatzmaterialien" und deren Wachstumspotenzial in den nächsten Jahren. Von besonderem Interesse sind hierbei materialspezifische Trends,

Herstellungsverfahren, Marktdurchdringung sowie technische Hürden bezüglich der Massenfertigung. Dargestellt werden Ersatzmaterialien, ihre Eigenschaften und potenziellen Anwendungen sowie weltweite Umweltrichtlinien und -regelungen, die den Einsatz gefährdender Stoffe betreffen.

Der weltweite Markt für "grüne Ersatzmaterialien" betrug 2005 etwa 6,1 Mrd US\$ und wird für 2010 auf ein Volumen von 8,7 Mrd US\$ abgeschätzt. Die jährliche Steigerung beträgt 7,4 %. Den mit 75 % größten Teil dieses Marktes machen Ersatzmaterialien für polybromierte Biphenyle (PBB) und polybromierte Diphenylether (PBDE) aus. Hier kommen vor allem Metallhydrat-basierte Harze zum Einsatz. Bleifreie Lötmaterialien und Lötbeschichtungen verzeichneten zwischen 2003 und 2005 einen von 9,1 % auf 10,4 % steigenden Marktanteil, der sich mittlerweile auf ein Volumen von 416 Mio US\$ beläuft. Der Markt für Ersatzmaterialien wird in den nächsten Jahren voraussichtlich weiterhin positiv beeinflusst. Gründe hierfür können in den rasanten Fortschritten der Produktionstechnologien, der Lösung von Zuverlässigkeitsproblemen bestimmter Materialklassen sowie in der kostengünstigen und guten Verfügbarkeit der Rohmaterialien gesehen werden.

### **Materials and devices for High-Performance Sports Products**

**Autor:** Andrew McWilliams (BCC research)

**Land/Region:** global;

**Umfang:** 189 Seiten

**Datum:** Januar 2006

**Prozess:** Publikationsrecherche; Unternehmensliteratur; Verkaufsstatistiken; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2010

**Werkstoffklasse:** Nanomaterialien, Verbundwerkstoffe, Kunststoffe/Polymere, Metalle

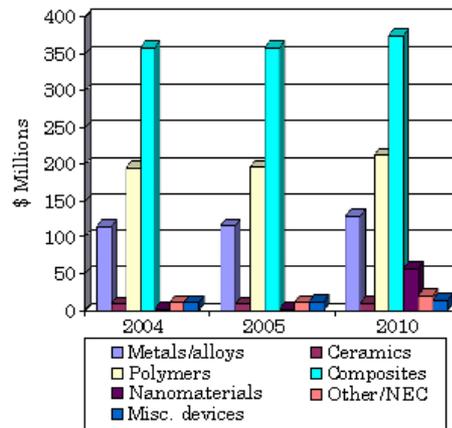
Neben körperlichen Aspekten sportlicher Fitness sind Erfolge im Leistungssport, sowie die Förderung des Breitensports in zunehmendem Maße an die Verfügbarkeit modernen und leistungsfähigen Sportgerätes gebunden. Spezielle Sportausrüstung und deren Materialzusammensetzung gewinnen somit mehr und mehr an Bedeutung innerhalb der Branche. Neue Materialien, wie Aluminium oder Kohlefaser-Verbundwerkstoffe, die zunächst im professionellen Sektor eingeführt wurden, setzen sich verstärkt auch im Breitensegment durch.

Die vorliegende Studie identifiziert und quantifiziert die Märkte neuer Material- und Ausrüstungstechnologien im Sportbereich und diskutiert deren Entwicklungspotenzial in den nächsten Jahren.

Der Verbrauch von Spezialmaterialien im Sportbereich betrug 2005 etwa 703 Mio US\$ und wird für 2010 auf ein Volumen von 816 Mio US\$ geschätzt. Die jährliche Steigerung beträgt 3 %. Die relativ geringe Steigerungsrate ist hauptsächlich auf die Sättigung von Schlüsselmärkten, wie etwa der Tennisausrüstung zurückzuführen, in der bereits seit langer Zeit Komposite und andere spezielle Materialien eingesetzt werden. Eine Ausnahme bilden Nanomaterialien, die über den Beobachtungszeitraum der Studie mit einem Wachstum von 208 % veranschlagt werden.

Insgesamt bleiben golf- und tennisbezogene Märkte jedoch weiterhin stark. Weitere Sportarten, die für den Verbrauch spezieller Materialien relevant sind, sind Rad- und Bootsport sowie der Wander- und Campingbereich. Zusammen mit Tennis und Golf machen diese 75 % des Gesamtmarktes aus.

**Global Market for Advanced Performance-Enhancing Materials and Devices in Sporting Goods, by Class of Material/Device, 2004-2010**



### Smart Materials: A Technical and Market Assessment

**Autor:** Josep Buchaca (BCC research)

**Land/Region:** global;

**Umfang:** 246 Seiten

**Datum:** Dezember 2005

**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Expertenbefragung; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

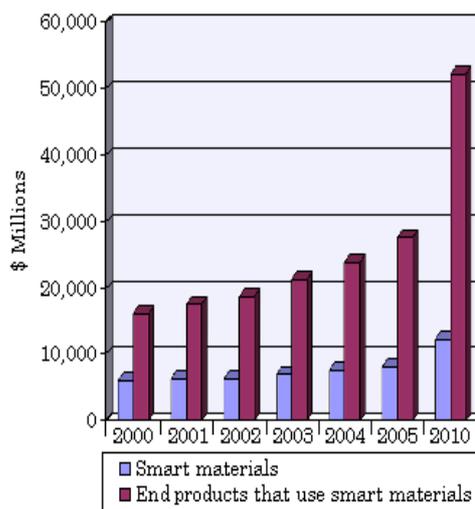
**Zeithorizont:** 2010

**Werkstoffklasse:** Keramiken, Verbundwerkstoffe, Kunststoffe/Polymere, Metalle/Legierungen

Der Begriff "Smart Materials" beschreibt eine Klasse von Materialien, die dynamisch auf externe Stimuli wie etwa Hitze, Feuchtigkeit, UV-Strahlung, Druck o. ä reagieren. Smart Materials Systeme weisen sensorische und aktorische Funktionalitäten auf, die breite technische und kommerzielle Anwendungsfelder adressieren.

Piezoelektrische Materialien umfassen Materialsysteme wie Kristalle, Keramiken, Polymere und Komposite. Weitere wichtige Materialkategorien stellen thermosensitive Materialien und biomimetische Materialien dar.

Die vorliegende Studie analysiert den Umfang, in dem intelligente Materialsysteme die kommerziellen Märkte in Zukunft durchdringen werden bzw. dieses bereits tun. Bezüglich der Marktstärke werden der asiatisch-pazifische Raum, Europa, die USA und - zusammengefasst - die restliche Welt verglichen. Für piezoelektrische Materialien entfällt der Hauptteil der Produktionskapazitäten auf Asien, während Europa, vor allem aber die USA die Führung in den Materialkategorien inne haben, die sich noch in einer früheren Entwicklungsphase befinden.



Der weltweite Markt für intelligente Materialien betrug 2005 etwa 8,1 Mrd US\$ und wird für 2010 bei 12,3 Mrd US\$ erwartet. Die jährliche Wachstumsrate beträgt 8,6 %. Etwa die Hälfte des Smart Materials Marktes entfällt derzeit auf Piezo-Materialien. Diese werden auch 2010 noch eine führende Position einnehmen, allerdings gestaltet sich das Wachstum dieses Segments mit 5,5 % langsamer als der Gesamtmarkt.

Magnetostriktive, biomimetische, chemosensitive und faseroptische Materialien werden zweistellige Wachstumsraten verzeichnen, thermosensitive Materialien wachsen im hohen einstelligen Prozentbereich. Derzeit nehmen biomimetische und thermosensitive Materialien etwa 15 % des Gesamtmarktes für Smart Materials ein.

### **Advanced Structural Carbon Products: Fibers, Foams and Composites**

**Autor:** Ravindra Deshpande (BCC research)

**Land/Region:** global;

**Umfang:** 236 Seiten

**Datum:** Dezember 2005

**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Expertenbefragung; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2011

**Werkstoffklasse:** Verbundwerkstoffe, Kunststoffe/Polymere

Die Hersteller strukturierter Kohlenstoff-Materialien stehen vor weitreichenden Weichenstellungen. Sie beliefern im Wesentlichen etablierte Industriezweige wie den Verteidigungs- und Aerospace-Bereich mit einer Vielzahl von Produkten. Diese Abnehmerbranchen sind jedoch überwie-

gend stark reglementiert. In den zurückliegenden Jahren ist deshalb ein steigendes Interesse an der Belieferung auch ziviler Märkte zu verzeichnen. Aus der Vielfältigkeit der Erfordernisse entstehen verstärkt technische Innovationen und damit neue Anwendungssegmente. So führen verbesserte Struktur-Eigenschaften spezieller Kohlenstoff-Materialien und Durchbrüche in den Fertigungsverfahren zu geringeren Kosten und erschließen neuartige Anwendungen.

Die Studie analysiert die Triebkräfte der Branche, denen sich die Hersteller strukturierter Kohlenstoff-Materialien in den nächsten Jahren gegenüber sehen und stellt die technischen Fortschritte und die globale Marktentwicklung der kommenden fünf Jahre dar. Die Studie deckt alle Arten von Kohlefasern, Kohlenstoff-Schäumen, monolithisch strukturierten Graphiten und kohlefaserverstärkten Kompositen ab.

Das Marktvolumen dieser vier Haupttypen strukturierter Kohlenstoff-Materialien betrug 2005 fast 1,6 Mrd US\$ und wird bei jährlichen Steigerungsraten von 6,6 % bis 2011 auf 2,2 Mrd US\$ anwachsen.

Durch kostengünstigere Herstellungsverfahren wird der mittlere Preis für Kohlefasern weiter zurückgehen. Der Markt für Kohlefasern wird auf 878 Mio US\$ im Jahr 2011 abgeschätzt.

Kohlenstoff-Schäume werden von einer niedrigen Ausgangsbasis von 11 Mio US\$ im Jahr 2006 mit mittleren jährlichen Raten von 18,3 % wachsen.

Strukturierte Graphite werden als etablierte Werkstoffe im Beobachtungszeitraum nur moderat von 315 Mio US\$ auf 348 Mio US\$ wachsen.

Für Kohlenstoff-Kompositmaterialien, die hauptsächlich im Bereich von Hochtemperatur-Anwendungen eingesetzt werden, wird ein mittleres jährliches Wachstum von 8,5 % abgeschätzt.

### **Advanced Structural Ceramics: Wear-Resistance, Tooling, Medical, Dental, Armor**

**Autor:** Thomas Abraham (BCC research)

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 375 Seiten

**Datum:** Dezember 2005

**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Expertenbefragung; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2010

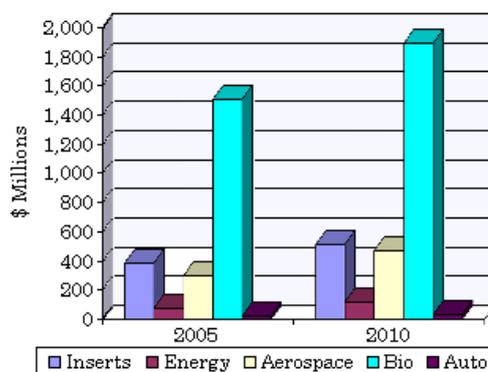
**Werkstoffklasse:** Keramiken

Spezialkeramiken stellen eine etablierte Werkstoffklasse mit vielfältigen Anwendungsfeldern dar. Spezialkeramiken sind anorganische, nicht-

metallische Materialien in Kombination mit feinskaligen Mikrostrukturen, komplexer Zusammensetzung, kristallischer Struktur, besonderer Reinheit oder der kontrollierten Zugabe spezieller Additive. Diese Materialien gehen bezüglich der Anforderungen in Herstellung und Design weit über konventionelle Keramiken hinaus. Innerhalb der Kategorie der Spezialkeramiken stellen Strukturkeramiken verschleiß- und korrosionsbeständige leichtgewichtige Materialien dar, die gegenüber anderen Werkstoffen für bestimmte Anwendungen eine Reihe von Vorteilen, wie z. B. hohe Stabilität und Temperaturbeständigkeit aufweisen. Strukturierte Spezialkeramiken haben aufgrund dieser Eigenschaften ein hohes Anwendungspotenzial in unterschiedlichen Branchen.

Die Studie gibt einen Überblick über verschiedene strukturierte Spezialkeramiken, ihre Produktionstechnologien und Anwendungen. Zudem werden wirtschaftliche Hürden in der Massenherstellung identifiziert. Sie beleuchtet die Entwicklung der Märkte in den nächsten Jahren für unterschiedliche Anwendungsbereiche wie Werkzeugbestandteile, energie- und hochtemperaturbeständige Komponenten, Flugzeugbauteile, militärische Anwendungen, Biokeramiken, Motorkomponenten etc.

**Market in Advanced Structural Ceramics in North America by Industry, 2005 and 2010**



Das Marktvolumen strukturierter Keramiken in Nordamerika betrug 2005 etwa 2,3 Mrd US\$ und wird bei jährlichen Steigerungsraten von 5,8 % bis 2010 auf etwa 3 Mrd US\$ anwachsen. Das größte Segment bilden die Biokeramiken mit 1,5 Mrd US\$ im Jahr 2005 und einer prognostizierten Wachstumsrate von 4,6 %.

Verschleißresistente Komponenten oder Werkstoffe für Schneidwerkzeuge machen 17 % des Gesamtmarktes aus, keramische Panzerungen etwa 13 %.

Durch den Anstieg der Energiekosten dürften Spezialkeramiken in Zukunft verstärkt Anwendung als Komponenten in Wärmetauschern oder als Bestandteile in Festoxid-Brennstoffzellen finden.

**Metal matrix Composites in the 21st Century: Markets and Opportunities**

**Autor:** Calvin Swift (BCC research)

**Land/Region:** global

**Umfang:** 227 Seiten

**Datum:** Oktober 2005

**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Expertenbefragung; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2010

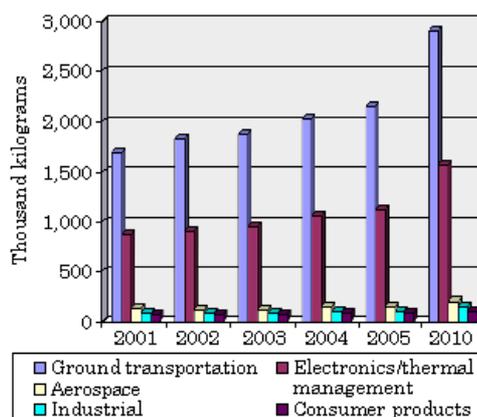
**Werkstoffklasse:** Metalle/Legierungen, Keramiken, Verbundwerkstoffe

Für viele moderne Technologiefelder spielen Metall-Matrix-Komposite (MMC) mittlerweile eine essentielle Rolle. Sie repräsentieren einen zwar kleinen, aber strategisch bedeutenden Markt. In den zurückliegenden Jahren hat sich der Markt für MMCs verändert. Die globale Rezession und die Terroranschläge des 11. September 2001 haben insbesondere den Bereich des gewerblichen Luftverkehrs bzw. Flugzeugbaus negativ beeinflusst. Zeitgleich traten neue Produzenten auf die Märkte und etablierte Hersteller erhöhten ihre Produktionskapazitäten.

Während der militärische Aerospacebereich ein wichtiger Abnehmer für MMCs blieb, ergaben sich jedoch auch zusätzliche Anwendungsfelder und Marktmöglichkeiten in anderen Industriebereichen. So erschließen sich infolge der Notwendigkeit besserer Treibstoff-Effizienz und leichterer Fahrzeuge insbesondere verstärkt Anwendungsmöglichkeiten im Automobilbereich. In der Mikroelektronik ergeben sich durch die Leistungssteigerung moderner Prozessoren besondere Herausforderungen bei der Bewältigung der entstehenden Abwärme, wodurch sich ein steigendes Interesse für thermische Managementsysteme auf der Basis von Metall-Matrix-Kompositen ergibt.

Die Studie analysiert die globalen Märkte für Metall-Matrix-Komposite und identifiziert die aussichtsreichsten Marktsegmente. Hier werden insbesondere die Märkte für Landverkehr, Elektronik, gewerblichen und militärischen Flugzeugbau, den Industrie- und Verteidigungsbereich beleuchtet. Zudem werden die Industriestruktur und das Wettbewerbsumfeld der Schlüsselunternehmen diskutiert.

**Global Metal Matrix Composites by Application Segments, 2001-2010**



Der Gesamtmarkt für Metall-Matrix-Komposite (MMC) wird mit einer jährlichen Steigerungsrate von 6,3 % auf 4,9 Mio Tonnen im Jahr 2010 wachsen. Dies bedeutet eine Wachstumsbeschleunigung im Vergleich zum Zeitraum zwischen 1999 und 2004. Der Branchenbereich ist mit insgesamt nur etwa 100 spezialisierten Unternehmen relativ klein und erreicht einen globalen Gesamtumsatz von 185 Mio US\$. Insgesamt wird der größte Verbrauch an MMCs in den nächsten Jahren in China erwartet.

### **Medical Plastics**

**Autor:** Mel Schlechter (BCC research)

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 222 Seiten

**Datum:** November 2006

**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

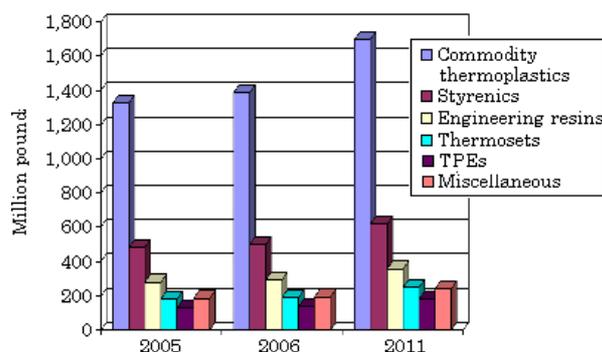
**Zeithorizont:** 2011

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere

Die Anwendung von Kunststoffen im Healthcare-Bereich umfasst einige spezielle Märkte, insbesondere medizinische Geräte und Verpackungsmaterialien. Die vorliegende Studie fokussiert sich auf den Einsatz von Kunststoffen in medizintechnischen Geräten. Der Markt zeigte in den USA in den vergangenen Jahren Wachstumsraten oberhalb derer des Bruttosozialproduktes. Treibende Kräfte dieses Wachstums und der weiteren Entwicklung sind in der demographischen Entwicklung und dem Anstieg des älteren Bevölkerungsanteiles, sowie in einem steigenden Kostendruck im Gesundheitswesen, aber auch in den Fortschritten der Polymertechnik und einer erhöhten Sensitivität für umweltrelevante Themen zu sehen. Letzteres spielt für medizinische Kunststoffprodukte vor allem hinsichtlich der Verwendung von Mehrweg- oder Wegwerfprodukten eine Rolle.

Die Studie beinhaltet einen umfangreichen Überblick über die Medizintechnikbranche in den USA, ihren gegenwärtigen Markt und die Marktentwicklungen der nächsten Jahre sowie eine Beschreibung der künftigen gesetzlichen Regelungen im Gesundheitswesen und ihrer Auswirkungen auf den Bereich medizinischer Kunststoffe in medizinischen Geräten.

**Medical Plastics Market 2005-2011**



Der US-Markt für medizinische Kunststoffe erreichte bis Ende 2006 1,22 Mio Tonnen und wird bei einem jährlichen Wachstum von 4,4 % bis 2011 mehr als 1,5 Mio t erreichen. Mit mehr als 50 % Anteil wird der Markt dominiert von thermoplastischen Materialien für Gebrauchsgüter. Dieser Markt wird mit 4,2 % jährlich wachsen. Das stärkste Wachstum mit 5,7 % wird für thermoplastische Elastomere (TPE) erwartet. Der Gesamtverbrauch an TPEs wird bis 2011 auf 82000 t geschätzt

### Plastics for Healthcare Packaging

**Autor:** Mel Schlechter (BCC research)

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 180 Seiten

**Datum:** Februar 2005

**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

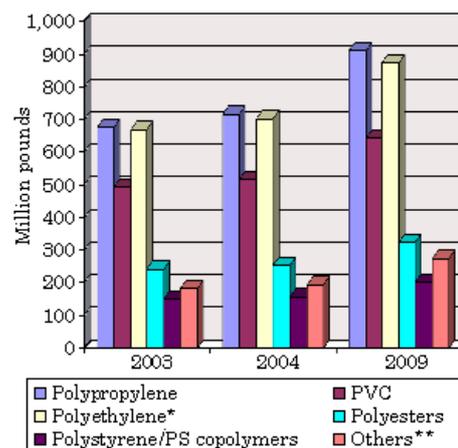
**Zeithorizont:** 2009

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere

Neben dem Einsatz von Kunststoffen als Werkstoffe in medizintechnischen Geräten fanden Kunststoffe im Healthcare-Bereich in den zurückliegenden Jahren verstärkt Verwendung als Verpackungsmaterial. Im Zuge steigenden Kostendrucks sowie eines Trends zur Verwendung von Einwegverpackungen ist mit einer weiteren Fortsetzung dieser Entwicklung zu rechnen. Weitere Einflussgrößen für die zukünftige Entwicklung des Marktes für medizinische Kunststoffverpackungen sind in der alternierenden Bevölkerungsstruktur, der verstärkten Bildung von Einkaufsgemeinschaften auf Seiten der Verbraucher, wie etwa Kliniken oder größerer Praxisgemeinschaften etc., sowie in einem verstärkten "Outsourcing" von Verpackungsarbeiten auf Seiten der Verpackungsindustrie zu sehen.

Die vorliegende Studie betrachtet verschiedene Aspekte im Überschneidungsbereich dreier Industriebranchen: Kunststoffe, Verpackungen, Healthcare. Insbesondere wird der nordamerikanische Markt für plastische Harze und ihre Verwendung als Verpackungsmaterial für Healthcare-Produkte analysiert. Das Spektrum erstreckt sich über Verpackungen

**North American Healthcare Packaging Market by Resin, 2003-2009**



pharmazeutischer und medizinischer Produkte, wie etwa Medikamentenverpackungen, Beutel für Blutpräparate und Infusionslösungen, diagnostische Kits, Spritzen, Schläuche, Flaschen etc.

Der US-Markt für Verpackungskunststoffe im Healthcare-Bereich erreichte 2004 1,13 Mio Tonnen und wird bei einem jährlichen Wachstum von 5 % bis 2009 etwas mehr als 1,45 Mio t erreichen.

Polypropylen repräsentiert 28 % des Gesamtmarktes und wird mit

jährlichen Steigerungen von 5,1 % auf etwa 410000 t im Jahr 2009 veranschlagt. Trotz der Bemühungen den Einsatz von PVC zu reduzieren, wird dieses Material weiterhin einen hohen Anteil am Gesamtmarkt behalten. Nach wie vor wird es in der Gesundheitsbranche als kostengünstiges und sicheres Material angesehen.

### **Plastic Wood: Technologies, Markets**

**Autor:** Mel Schlechter (BCC research)

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 180 Seiten

**Datum:** Mai 2005

**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Expertenbefragungen; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2009

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere, Verbundwerkstoffe/Hybridmaterialien

Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe (Wood Plastic Composites; WPC) sind thermoplastisch verarbeitbare Verbundwerkstoffe, die aus unterschiedlichen Anteilen von Holz, Kunststoffen und Additiven bestehen, und durch thermoplastische Formgebungsverfahren, wie z. B. Extrusion, Spritzgießverfahren, Rotationsgussverfahren, mittels Presstechniken oder im Thermoformverfahren, verarbeitet werden.

Die vorliegende Studie liefert einen Überblick über die historische Entwicklung verschiedener Holz-Ersatzmaterialien wie WPCs oder Naturfaser-Verbundmaterialien und gibt einen Ausblick auf die Entwicklung der nächsten Jahre in den vier Hauptanwendungsbereichen Baumaterialien, Automotive, Infrastruktur und Verbrauchsgüter. Diskutiert werden Technologien, Produktionsverfahren, Zusatzstoffe und erforderliche Materialeigenschaften.

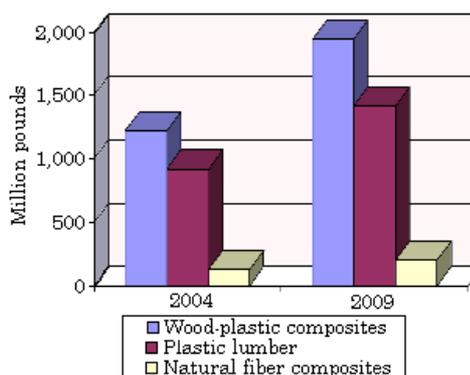
Die Verwendung von Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffen (Wood Plastic Composites/WPC) sowie von Kunststoffelementen mit Holzstrukturen (Plastic Lumber/PL) nimmt in den USA weiter zu. Neben Holzfasern werden bei der WPC-Herstellung Polyethylen, Polypropylen und PVC eingesetzt. Als Komponenten zur PL-Produktion kommen Polyethylen, Glasfaser und PVC zum Einsatz.

Der US-Markt für Holz-Kunststoff- und Naturfaser-Kunststoff-Verbundwerkstoffe

lag 2004 bei etwa 1 Mio Tonnen und wird bei einem jährlichen Wachstum von 9,5 % bis 2009 etwa 1,6 Mio t erreichen. Schätzungen zufolge werden in den USA jährlich insgesamt 4,4 Mio. Holzterrassen gebaut. Als sich verstärkt durchsetzendes Material für Holzterrassen wird das Segment der Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe (WPC) demzufolge mit einer jährlichen Rate

von 9,8 % wachsen. Das etabliertere "Plastic Lumber", das vor allem als Material für Zäune und Gatter verwendet wird, wird ein weiterhin kontinuierliches Wachstum zeigen. Innenausstattungen von Automobilen bilden eine der Hauptanwendungen für Naturfaser-Komposite. Dieses Segment wird mit jährlichen Steigerungsraten von 9,9 % bis Ende 2009 abgeschätzt.

**North American Market for Wood-plastic Composites, Natural Fiber Composites and Plastic Lumber, 2004 and 2009**



**Electroactive Polymers****Autor:** Mel Schlechter (BCC research)**Land/Region:** global**Umfang:** 199 Seiten**Datum:** Januar 2006**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Expertenbefragungen; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage**Zeithorizont:** 2011**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere

Elektroaktive Polymere (EAP) bilden die Grundlage einiger neuer und weitreichender Technologien, die u. a. für die Elektronikindustrie von großer Bedeutung sind. EAPs umfassen verschiedene Materialien. Hierzu gehören die leitfähigen Kunststoffe, die aus konventionellen Thermoplasten bestehen, die Füllstoffe enthalten, welche sie leitfähig machen oder auch Polymere mit geringer Dielektrizitätskonstante, die Anwendungspotenzial in der Mikroelektronik haben. Weiterhin gibt es die inhärent leitfähigen Polymere (ICP), die durch Dotierungen aus sich selbst leitfähig sind und die inhärent dissipativen Polymere (IDP). Letztere sind beispielsweise Permanent-Antistatika, die entlang ihrer Molekülketten leitfähig sind, einen festen Verbund mit dem Kunststoff eingehen und dabei ein dreidimensionales Netzwerk bilden. Obwohl leitfähigen Kunststoffe die Leitfähigkeit von Metallen nachahmen, weisen sie hinsichtlich ihrer Herstellung, ihrer Leistungseigenschaften und ihrer Produktionskosten Nachteile auf. ICPs und IDPs können in dieser Hinsicht als "alternative leitfähige Polymere" angesehen werden, die verstärkt in die Anwendung kommen. Polymere mit geringer Dielektrizität befinden sich dagegen noch in einem frühen Stadium. Ihr Hauptanwendungsfeld kann in der flexiblen Elektronik gesehen werden.

Die vorliegende Studie analysiert den Markt für elektroaktive Polymere und entwickelt Szenarien für deren Anwendungen. Die meisten Applikationen befinden sich derzeit noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Die Studie beinhaltet Trends in F&E, Patentierungen und potenziellen industriellen Anwendungen, sowie Marktabschätzungen für die einzelnen EAP-Segmente.

Das Marktvolumen für leitfähige Kunststoffe betrug 2005 700 Mio US\$. Der Anteil von ICPs belief sich auf unter 60 Mio US\$. Dennoch kann das ICP Segment bis 2011 einen Umfang bis zu 150 Mio US\$ erreichen, während leitfähige Kunststoffe die 1 Mrd US\$ Grenze überschreiten. Treibende Kraft für alle elektroaktiven Polymere ist die steigende Nachfrage nach elektronischen Geräten und das starke Wachstum relativ neuer Produkte wie Mobiltelefone oder Digitalkameras. Die Segmentenmärkte für ICPs und schwach dielektrische Polymere werden stark getrieben von

der Entwicklung organischer Transistoren als Ersatz für Silizium-Bauelemente, sowie der weiteren Entwicklung licht-emittierender Dioden im Display- und Beleuchtungsbereich.

### The Changing Plastics Compounding Business

**Autor:** Mel Schlechter (BCC research)

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 162 Seiten

**Datum:** Juni 2006

**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Expertenbefragungen; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

**Zeithorizont:** 2011

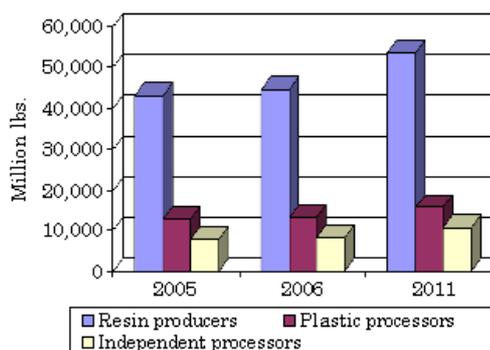
**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere

Die Zusammensetzung von Rohkunststoffen ist ein wichtiger und zugleich kritischer Schritt in der kommerziellen Produktion von Kunststoffprodukten. Beim "Kunststoff-Compounding" wird den Rohkunststoffen eine breite Palette von Additiven beigemischt. Diese Additive umfassen Farbstoffe, Stabilisatoren, Flammschutzmittel, Weichmacher, Füllstoffe, Verstärker etc. Kunststoff-Compounding wird im Wesentlichen von Rohkunststoff-Produzenten und Kunststoff-Verarbeitern durchgeführt.

Die vorliegende Studie analysiert den Markt für das Kunststoff-Compounding und untersucht verschiedene Plastik- und Elastomermaterialien hinsichtlich der Branchenzugehörigkeit der Compoundierer. Insgesamt werden mit Rohkunststoff-Produzenten, Kunststoff-Verarbeitern und Spezial-Compoundierern drei Gruppen betrachtet, für die Abschätzungen und Marktprognosen in einem Zeitraum bis 2011 getroffen werden.

Vom Gesamtmarkt für thermoplastische Materialien entfiel 2006 der mit 20,2 Mio t größte Teil auf Rohkunststoff-Produzenten, während Kunststoff-Verarbeiter 5,9 Mio t herstellten. Unabhängige Verarbeiter produzierten 3,7 Mio t. Letztere werden bis 2011 mit 5,3 % den höchsten jährlichen Zuwachs verzeichnen. Für die einzelnen thermoplastischen Kunststoffe gestaltet sich die

**North American Forecast of The Plastic Compounding Market by Type of Company, 2005-2011**



Zusammensetzung jedoch sehr unterschiedlich. So werden Polyethylene und Polystyrene überwiegend von Rohkunststoff-Produzenten hergestellt, während PVC im Wesentlichen von Kunststoff-Verarbeitern produziert wird.

Im Kunststoff-Compounding ergeben sich in den nächsten Jahren einige wesentliche Trends. So werden sich Rohkunststoff-Produzenten verstärkt dem Compounding widmen und damit einen Schritt in Richtung der Verarbeitung von Kunststoffen gehen. Umgekehrt bewegen sich Kunststoff-Verarbeiter mit einem verstärkten Engagement beim Compounding zunehmend im Umfeld der Vorprodukterzeugung. Zusätzlich wird sich eine zunehmende Spezialisierung unabhängiger Compoundierer ergeben.

**EMI/RFI: Materials and Technologies**

**Autor:** Mel Schlechter (BCC research)

**Land/Region:** USA

**Umfang:** 236 Seiten

**Datum:** Juni 2007

**Prozess:** Publikations- und Patentrecherche; Expertenbefragungen; Unternehmensmitteilungen; Datenbankabfrage

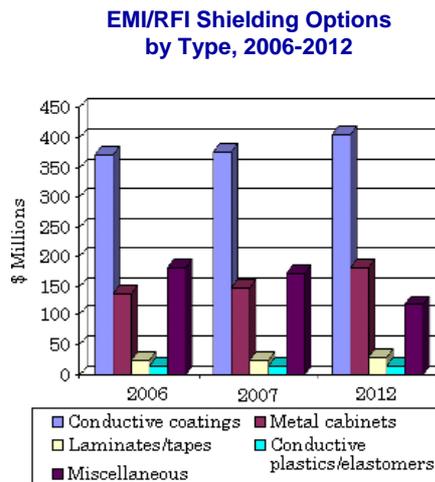
**Zeithorizont:** 2012

**Werkstoffklasse:** Kunststoffe/Polymere

Ziel der Studie ist die Analyse elektromagnetischer Interferenzprobleme, wie sie beim Betrieb elektronischer Geräte auftreten, sowie eine Einschätzung der Abschirmungspotenziale verschiedener Materialien und Strukturen. Insbesondere werden Trends hinsichtlich der Verwendung von Kunststoffmaterialien zur Abschirmung elektromagnetischer Interferenz aufgezeigt. Insgesamt zeigte die Branchenstruktur in den letzten Jahren wichtige Veränderungen bedingt durch eine steigende Zahl von Geräten und Komponenten, die geschirmt werden müssen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist in der stärkeren Verbreitung drahtloser elektronischer Geräte zu sehen, die immer höhere und breitere Frequenzbereiche belegen. Dies führt zu Veränderungen und Anpassungen der Abschirmungserfordernisse

Die vorliegende Studie analysiert den Stand der Technik bei Abschirmungsmaterialien sowie die Erfordernisse der wesentlichen Anwenderbranchen wie der Gesundheitswirtschaft, dem Flugzeugbau, dem Maschinenbau etc. Die Studie beinhaltet eine technisch-ökonomische Analyse mit quantitativen Marktprognosen für verschiedene Materialien und Anwendungen. Insbesondere werden die Märkte für Schlüsselmaterialien und -strukturen wie Beschichtungen, Kunststoffe und Polymere, Gehäuse, Legierungen, Filme, Fasern, Laminare, Nanomaterialien etc. beleuchtet.



Der Bedarf an elektromagnetischen Abschirmungen lag 2006 bei 725 Mio US\$. Bis 2012 wird ein nur marginales Wachstum auf 745 Mio US\$ erwartet. Durch die zunehmende kommerzielle Nutzung höherer Frequenzbereiche werden Metallgehäuse mit 5,6 % pro Jahr das stärkste Wachstum verzeichnen. Bis 2012 werden sie ein Marktvolumen von 182 Mio US\$ erreichen. Die meisten anderen Abschirmungsstrukturen zeigen nur moderates Wachstum.



## 4 INTERNATIONALE FÖRDERPROGRAMME, KONFERENZEN



### 4.1 Zusammenfassende Betrachtung

Im Berichtszeitraum wurden 17 Förderprogramme aus 7 verschiedenen Ländern (7 USA, je zwei Indien und Finnland, je eins Norwegen, Japan, China und Russland) ausgewertet. Mit dieser Aufteilung wurde versucht, trotz der relativ geringen Anzahl, einen möglichst repräsentativen Überblick über die internationalen Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Materialwissenschaften und Nanomaterialien zu erhalten.

Die betrachteten Programme bilden zudem auch in Bezug auf Ihre Größe einen weiten Rahmen. Die Förderzeiträume reichen von einigen Monaten bis hin zu kontinuierlichen Förderungen über viele Jahre. Dabei ist allerdings ein deutlicher Schwerpunkt in 3-5 jährigen Projekten zu erkennen. Ähnliches gilt für das bereitgestellte Budget, welches von einigen Tausend Euro im gesamten russischen Programm bis zu mehreren Millionen Euro für einzelne Projekte in Japan oder USA reicht.

Bei der Recherche wurden nur wenige Förderbekanntmachungen mit stark eingegrenzten, spezialisierten Forschungsfeldern gefunden, sondern zumeist allgemein gefasste Förderprogramme, bei denen lediglich eine grobe Richtung vorgegeben wird.

Die Mehrheit der recherchierten Programme läuft über einen sehr langen Zeitraum, wobei jährlich neue Einladungen zum Einreichen von Forschungsanträgen mit jeweils angepasster Schwerpunktsetzung herausgegeben werden.

Zusätzlich wurden vier internationale Konferenzen in die Recherche einbezogen. Davon hatten zwei den Schwerpunkt Oberflächen und Schichttechnik. Die beiden Anderen gehören jeweils zu den international bedeutendsten Tagungen für die Werkstoffklassen Polymere beziehungsweise Keramik.

Die 21 betrachteten internationalen Forschungsprogramme und Fachkonferenzen weisen ein weites Feld materialwissenschaftlicher und nanotechnologischer Forschungsaktivitäten auf. Im überwiegenden Teil wird die gesamte Forschungskette von der Herstellung über die Verarbeitung bis zur Analyse der Materialien angesprochen.

Es lassen sich drei Forschungsgebiete feststellen, welche international am häufigsten in Förderbekanntmachungen genannt werden und auch jeweils Schwerpunkte auf Konferenzen darstellen.

### 1) Umwelt

Aufgrund der öffentlichen Diskussion rückt der Umweltschutz auch in der Materialforschung in eine zentrale Position. Zählt man zu diesem Themenkomplex auch das Gebiet Energieerzeugung und –effizienz kann man einige Kernthemen feststellen, wie zum Beispiel Membranen und andere Bauteile für Brennstoffzellen, Bauteile für die Energiegewinnung aus Wasserstoff, Hochtemperaturkeramiken oder Leichtbau.

Im Bereich Nanotechnologie kommen zu den bereits genannten noch umfangreiche Aktivitäten bei der Erforschung und Abschätzung der Gefahren für Mensch und Natur bzw. deren Schutz.

### 2) Biotechnologie / Biomaterialien

Mehrere Forschungsprogramme befassen sich direkt oder zumindest als Schlüsselthema mit Biomaterialien. Dabei werden sowohl biologisch abgeleitete Materialien (Biomimetik) als auch synthetische Materialien, für den Einsatz in der Medizintechnik (Implantate, Wirkstofffreisetzungssysteme, Tissue Engineering), thematisiert.

### 3) Modellierung und Simulation

Ein noch kleines, jedoch aktuell stark an Bedeutung gewinnendes Thema ist die virtuelle Eigenschaftsbestimmung und Produktion. Von der Forschung in diesem Bereich verspricht man sich ein erhebliches Kostenreduktionspotenzial. Aus Gesprächen mit mehreren Kompetenzträgern aus den Gebieten Keramik und Polymerwerkstoffe ergab sich, dass diese Forschungen jedoch bisher nur in eng umrissenen Spezialgebieten anwendungsrelevant sind.

In nahezu allen recherchierten Förderbekanntmachungen und auf jeder ausgewerteten Konferenz haben **nanotechnologische Themen** einen besonders großen Stellenwert. Auf eine weitere Detaillierung wird jedoch zumeist verzichtet.

In fast allen Bekanntmachungen, welche speziell die Förderung der Nanotechnologie und Nanowissenschaft zum Inhalt haben, ist die Erforschung der **gesundheitlichen und ökologischen Risiken** ein Hauptthema.

Des Weiteren ist eine Schwerpunktbildung bei nanoskaligen **Funktionsmaterialien und –bauteilen** festzustellen. Hierbei ist eine Trendsetzung in Richtung **intelligenter Oberflächen** und Strukturen zu erkennen.

Wesentliche internationale Forschungsaktivitäten im Nanobereich finden zudem in einigen Teilgebieten der Bioingenieurwissenschaften statt, beispielsweise der **Biomimetik** und der **Biomineralisation**. Biotechnologisch erzeugte Strukturen und Grenzflächen, welche per se zumeist in der Nanogrößenordnung liegen, bilden einen deutlichen Trend.

Ein wesentlicher, nichttechnologischer Trend ist die Bestrebung, nationale Forschungsaktivitäten und -kompetenzen in wenigen, ausgesuchten Zentren zu bündeln. Diese wird in drei Förderprogrammen als Schlüsselthema genannt.

## 4.2 Kurzbeschreibungen der internationalen Förderprogramme

### **Materials Processing and Manufacturing (MPM)**

**Internet:** [http://www.nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=13344](http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=13344)

**Land:** USA

**Organisation:** The National Science Foundation (NSF)

**Zeitraum:** Erstauflage 2001, jüngste Aktualisierung 28.03.2007, Ende offen

**Genehmigte Anträge:** 155 bis 15.05.2007 (zum Teil in Verbindung mit anderen Programmen der NSF)

**Durchschnittliche Fördersumme pro Projekt:** 191.000 Euro

**Projektdauer:** bis zu 5 Jahren

**Zuwendungsart:** einmalige und kontinuierliche Zuwendungen

**Empfänger:** - Zuwendungen für Reisezuschüsse, Summer Schools, Forschungsprojekte

- Kleinere, multidisziplinäre Gruppen werden besonders angesprochen

Das MPM-Programm fördert Innovationen auf dem Gebiet neuer Prozesse und Methoden zur Erzeugung nutzbarer Produkte aus neuen und wiederaufbereiteten Materialien. Besonderes Augenmerk gilt dabei dem Verständnis und der Kontrolle des Materialverhaltens während der Herstellung. Das Programm schließt die Produktion und Verarbeitung von Metallen, Keramiken, Polymeren und Verbundwerkstoffen ein. Halbleiterforschungen sind ausdrücklich ausgeschlossen, da es dafür ein eigenes Programm gibt.



Es werden drei Hauptthemen genannt:

- Umweltfreundliche Herstellung
- (Lebenszyklus, Abfallvermeidung),
- Virtuelle Produktion
- (Simulation und Modellbildung für Prozesse verknüpft mit der Mikrostruktur der Materialien und Prozessbedingungen, ausdrücklich wird die Prüfung der Modelle anhand von experimentell erhaltenen Daten gefordert),
- Neuartige Hybrid-Prozesse
- (Bestehende Prozesse oder Teilprozesse miteinander kombinieren, um Materialien zu optimieren, endmaßnah zu fertigen oder Energie einzusparen).



### **Biomaterials (BMAT)**

**Internet:** [http://www.nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=13699&org=DMR&sel\\_org=DMR&from=fund](http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=13699&org=DMR&sel_org=DMR&from=fund)

**Land:** USA

**Organisation:** The National Science Foundation (NSF)

**Zeitraum:** Deadline für neue Anträge November 2007

**Genehmigte Anträge:** 34 seit 2003, 23 mit Start 2007

**Durchschnittliche Fördersumme pro Projekt:** 232.000 Dollar

**Projektdauer:** bis zu 5 Jahre

**Zuwendungsart:** kontinuierliche Zuwendungen

**Empfänger:** von einzelnen Studenten als Reisezuschuss (3.000 \$) bis zum Aufbau neuer Zentren (1.350.000 \$)

Der Fokus des Biomaterialien-Programms ist die Erforschung von biologiebezogenen Materialien und Phänomenen, einschließlich biologischer Möglichkeiten zu neuen Materialien zu gelangen. Die Materialien und die Systeme schließen Biomoleküle, biomolekulare Verbünde (Systeme mit stark aufeinander einwirkenden Biomoleküle), biomolekulare Systeme (Vesikel, Membranen und andere Netze von den Biomolekülen) ein, wie auch biomimetische, bioinspirierte und biokompatible Materialien. Die Methoden der Materialforschung sollen an biologischen Systemen angewendet werden, um Phänomene zu entdecken oder zu verstehen und Materialien zu generieren oder zu optimieren.

Die Förderung ist in allen Bereichen biologiebezogener Festkörperphysik, Chemie und Materialwissenschaft möglich. Materialfokussierte Anträge für Forschung und Ausbildung in diesen Bereichen gelten als besonders förderungswürdig.

Sehr große Projekte werden gemeinsam mit anderen Programmen (z. B. Biomedical Engineering, Ceramics, Metals) gefördert.

**Vier Programme zur Grundlagenforschung und Ausbildung in den einzelnen Materialklassen:**

**Polymere, Metalle, Keramik, Werkstoffe der Elektrotechnik**

**Internet:** [http://www.nsf.gov/funding/pgm\\_list.jsp?org=DMR](http://www.nsf.gov/funding/pgm_list.jsp?org=DMR)

**Land:** USA

**Organisation:** The National Science Foundation (NSF)

**Zeitraum:** Deadline für neue Anträge November 2007

**Projektdauer:** bis zu 5 Jahre

**Zuwendungsart:** kontinuierliche Zuwendungen

**Empfänger:** ohne Beschränkung, einzelne Reisezuschüsse bis Multicenter Forschung

Der Bereich Materials Research (DMR) des NSF betreibt seit mehreren Jahren Forschungsprogramme die den Schwerpunkt auf einzelne Werkstoffgruppen legen. Vier derartige Programme mit jährlichen neuen Antragsphasen sind derzeit aktiv.

Gefördert werden Grundlagenforschung und Ausbildung in Herstellung, Verarbeitung und Analyse.

Sehr große Projekte oder Anträge über Verbundwerkstoffe können in Zusammenarbeit der einzelnen Werkstoffprogramme oder gemeinsam mit anderen Programmen (z.B. Materials Chemistry, Biomedical Engineering) gefördert werden.

Die Gesamtfördersumme der einzelnen Werkstoffprogramme ist etwa gleich. Die nachfolgende Aufstellung zeigt die Anzahl der bisher geförderten Projekte und die durchschnittliche Fördersumme pro genehmigtem Antrag.

Polymere	182 seit 2001	309.000 \$
Metalle	168 seit 2001	313.000 \$
Elektronische Materialien	142 seit 2001	384.000 \$
Keramik	126 seit 2000	403.000 \$





### **Mechanics and Structures of Materials**

**Internet:** [http://www.nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=13355](http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=13355)

**Land:** USA

**Organisation:** The National Science Foundation (NSF)

**Zeitraum:** Deadline für neue Anträge Februar 2007

**Genehmigte Anträge:** 128 Projekte seit 2001

**Durchschnittliche Fördersumme pro Projekt:** 471.000 \$

**Projektdauer:** bis zu 5 Jahre

**Zuwendungsart:** kontinuierliche Zuwendungen

**Empfänger:** ohne Beschränkung, einzelne Reisezuschüsse bis Multicenter Forschung

Das MSM - Programm unterstützt Forschungsvorhaben auf dem Gebiet theoretischer, analytischer und experimenteller Festkörpermechanik, auf Modellen beruhende Simulationen sowie die Verknüpfung der Mikrostruktur zur Nano-, Meso- und Makroskala des strukturellen Verhaltens. Das Programm fördert außerdem experimentelle und analytische Forschung über Deformation, Ermüdung und Bruch und die zugrundeliegenden Nano- und Mikrogefügezustände sowie deren Entstehung, Umwandlung und Entwicklung.



### **Materials World Network: Cooperative Activity in Materials Research between US Investigators and their Counterparts Abroad (MWN)**

**Internet:** [http://www.nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=12820&org=DMR&sel\\_org=DMR&from=fund](http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=12820&org=DMR&sel_org=DMR&from=fund)

**Land:** USA

**Organisation:** The National Science Foundation (NSF)

**Zeitraum:** Deadline für neue Anträge November 2007

**Genehmigte Anträge:** 146 seit 2001, 20 – 40 für 2007 erwartet

**Durchschnittliche Fördersumme pro Projekt:** 299.000 \$ (2,5 – 4,5 Mio. \$ je nach Anträgen insges. für 2007)

**Projektdauer:** bis zu 5 Jahre

**Zuwendungsart:** kontinuierliche Zuwendungen

**Empfänger:** internationale Forschergruppen

In diesem von der NSF initiierten Projekt arbeiten nationale, regionale und internationale Förderinstitute zusammen (für Deutschland die DFG),

um die Möglichkeiten zur Zusammenarbeit in Forschung und Ausbildung in den Materialwissenschaften zu stärken.

Die Anträge müssen einen Bezug zu einem der anderen NSF-Programme im Bereich Materialwissenschaften haben. Die Projekte sollen die Möglichkeit für Studenten und Jungwissenschaftler beinhalten, internationalen Erfahrungen zu sammeln und die Integration fördern.

Kontakte bestehen bereits zu folgenden Ländern.

Inter-American Materials Collaboration (CIAM):

Argentinien, Brasilien, Kanada, Chile, Kolumbien, Mexiko, Peru, Trinidad & Tobago

Africa-USA Materials Collaboration:

Algerien, Ägypten, Äthiopien, Kenia, Marokko, Namibia, Nigeria, Ruanda, Senegal, Südafrika, Tansania, Tunesien, Uganda, Zimbabwe

Kontakte in Europa:

Österreich, Kroatien, Finnland, Frankreich, Deutschland, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Polen, Spanien, Schweiz, Ukraine, Großbritannien

Kontakte in weitere Länder und Regionen:

Australien, China, Indien, Israel, Japan, Russland, Saudi Arabien, Taiwan

### **Materials Research Science and Engineering Centers (MRSEC)**

**Internet:** [http://www.nsf.gov/funding/pgm\\_summ.jsp?pims\\_id=5295](http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=5295)

**Land:** USA

**Organisation:** The National Science Foundation (NSF)

**Zeitraum:** Erstauflage 1994, neue Antragsphasen aller 2-3 Jahre, Ende offen

**Genehmigte Anträge:** pro Antragsphase 12-15, auch bereits geförderte Gruppen

müssen sich stets neu bewerben

**Durchschnittliche Fördersumme pro Projekt:** 1,4 Mio. EUR / a

**Projektdauer:** bis zu 6 Jahren

**Zuwendungsart:** kontinuierliche Zuwendungen

**Empfänger:** Multidisziplinäre Forschungszentren mit hervorragender Bedeutung



Das MRSEC-Programm unterstützt interdisziplinäre Materialforschung und -ausbildung mit Ausrichtung auf grundlegende Probleme der Wissenschaft und Technik. Die geförderten Zentren müssen:

- Über hervorragende Forschungsqualität und –breite verfügen,
- Die Kommunikation zwischen Forschern unterstützen,
- Bei der flexiblen Reaktion auf neue Begebenheiten helfen,
- Die Integration der Forschung und der Ausbildung hervorheben,
- Die aktive Zusammenarbeit zwischen Universitäten und anderen Bereichen, einschließlich der Industrie, fördern,
- Ein nationales Netzwerk der universitären Einrichtungen in der Materialforschung bilden.

Die MRSEC zielen auf Probleme deren Bandbreite oder Komplexität die Möglichkeiten derartiger interdisziplinärer Forschungszentren erfordern. Ein MRSEC kann sich an einer einzelnen Forschungsanstalt befinden oder mehrere Anstalten in Teilhaberschaft mit einbeziehen.



### **NANO SCIENCE & TECHNOLOGY INITIATIVE (NSTI)**

**Internet:** <http://dst.gov.in/scientific-programme/ser-nsti.htm>

**Land:** Indien

**Organisation:** Department of Science & Technology (DST)

**Zeitraum:** Erstauflage Oktober 2001, jüngster Call Anfang 2007,  
Ende offen, letzter veröffentlichter Jahresbericht 2005,  
Anträge immer möglich

**Genehmigte Anträge:** 25 – 30 pro Jahr

**Durchschnittliche Fördersumme pro Projekt:** 20.000 – 500.000 EUR

**Projektdauer:** mehrere Jahre

**Zuwendungsart:** einmalige und kontinuierliche Zuwendungen

**Empfänger:** - Zuwendungen für Reisen, Summer Schools,  
Forschungsprojekte  
- Aufbau von Großgeräten

Das NSTI zielt auf das gesamte Gebiet der Nanowissenschaften. Das Ziel ist Indien sowohl bei der Grundlagenforschung als auch bei der Anwendung von Nanotechnologien zu einem „Global Player“ zu machen.

Es werden vier grundlegende Aufgaben des Programms genannt:

- Unterstützung herausragender Forschungsgebiete der Nanowissenschaften
- Stärkung von Einrichtungen auf nationaler Ebene
- Aus- und Weiterbildung

- Förderung von Kontakten zwischen Ausbildungseinrichtungen und Industrie

Bisher geförderte Projekte bearbeiteten u. a. Themen, wie Synthese von Nanokeramik, Nanopartikel und –röhren, nanoporöse Körper aber auch DNA-Chips.

Ein wesentliches Förderziel ist die anwendungsnahe Forschung. Ein weiterer Aspekt der Förderung in diesem Programm ist der Aufbau von „Centres of Excellence“.

### **Science & Engineering Research Council (Engineering Sciences)**

**Internet:** <http://dst.gov.in/scientific-programme/ser-serc.htm>

**Land:** Indien

**Organisation:** Department of Science & Technology (DST), Science & Engineering Research Council (SERC)

**Zeitraum:** SERC 1974 gegründet, Anträge immer möglich

**Genehmigte Anträge:** insgesamt in Engineering Science etwa 80 pro Jahr

**Projektdauer:** mehrere Jahre

**Zuwendungsart:** einmalige und kontinuierliche Zuwendungen

**Empfänger:** kaum Einschränkungen, nahezu alles beantragbar

Es gibt derzeit kein spezielles Programm zur Förderung der Werkstoffwissenschaften in Indien. Diese sind als Unterpunkt im Programm „Engineering Sciences“ angesiedelt.

Engineering Science beinhaltet:

- Chemical Engineering,
- Electrical, Electronics & Computer Engineering,
- Materials, Mining & Minerals Engineering,
- Mechanical Engineering and Civil Engineering, Robotics und
- Manufacturing.

Als Schwerpunkte der Materialforschung sind laut dem Grundsatzpapier (VISION FOR R&D IN ENGINEERING SCIENCES, <http://www.serc-dst.org/engineering.html> ), auf dem das Forschungsprogramm beruht, folgende Themen besonders förderungswürdig:

- Hochleistungskeramik,
- Smart Sensors und intelligente Verfahren,
- Neue Materialien, wie Nanomaterialien, gradierte Materialien, Komposite mit anorganischer Matrix,



- Hochentwickelte magnetische Materialien,
- Modellierung und Simulation,
- Oberflächentechnologien, besonders tribologische und abriebfeste Materialien,
- Biomimetische Materialien und Biomineralisation,
- Mehrwert im Materialkreislauf, inklusive der Materialgewinnung.



### **COMBIO - Commercialisation of Biomaterials**

**Internet:** <http://tekes.fi/COMBIO>

**Land:** Finnland

**Organisation:** TEKES The National Technology Agency

**Zeitraum:** 2003 - 2007

**Genehmigte Anträge:** 31 Forschergruppe an 10 Instituten, 22 teilnehmende Unternehmen

**Fördersumme:** gesamt 30 Mio. EUR

**Projektdauer:** mehrere Jahre

**Zuwendungsart:** kontinuierliche Zuwendungen

**Empfänger:-** Besonders Unternehmen

Das Ziel des COMBIO-Programms ist die Weiterentwicklung und vor allem die Kommerzialisierung der Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der biomedizinischen Materialien.

Dabei wurden drei Schwerpunkte identifiziert:

- Materialien und Methoden des Tissue Engineerings,
- Neue Materialien der Wirkstofffreisetzung und
- Implantate.

Die bewilligten Projekte hatten bzw. haben u. a. folgende Inhalte:

- Implantate aus Shape Memory Metallen,
- Simulation der Wirkstofffreisetzung,
- Chirurgie der Augen,
- Tissue Engineering,
- Multifunktionale Biomaterialien,
- Biomechanische Optimierung von Mehrkomponentenimplantaten,
- Poröse Strukturen und bioaktive Materialien,
- Kontrollierter Abbau und Bioaktivität von Knochenkompositen,

- Fotopolymerisation von Gelen,
- Herstellung von Knochengewebe aus Stammzellen,
- Behandlung von Knorpelschäden mittels Biomaterialien und Gewebe aus Stammzellen.

### **FinNano technology programme**

**Internet:** <http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/NANO/en/etusivu.html>

**Land:** Finnland

**Organisation:** TEKES The National Technology Agency

**Zeitraum:** 2005 – 2009, jährliche Calls

**Genehmigte Anträge:** bisher 40

**Fördersumme:** 25 Mio. EUR Forschungsförderung , 6 Mill. in 2007

**Projektdauer:** mehrere Jahre

**Zuwendungsart:** kontinuierliche Zuwendungen

**Empfänger:** Unternehmen, Forschungsinstitute, Universitäten

Das Programm fokussiert auf drei Gebiete der Nanotechnologie:

- Innovative Nanomaterialien
- Nanosensoren und Nanoaktuatoren
- Neue nanoelektronische Lösungen

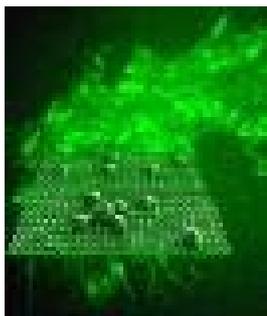
In enger Zusammenarbeit von Forschung und Industrie werden jährlich neue thematische Schwerpunkte definiert. Für den FinNano Call 2007 waren diese:

- Sensoren und sensorische Anwendungen (neue Materialien, Dünnschicht- und andere Massenproduktionsprozesse)
- Intelligente Oberflächen (Funktionelle Beschichtungen, Nanostrukturierung, wie molekulares Drucken, Selbstorganisation)
- Neue Materiallösungen (Nano- und Molekulare Komposite, Nanopartikel, Nanoröhren, bio-inspirierte Werkstoffe und Metamaterialien für elektronische, photonische und strukturelle Komponenten)

Zusätzliche Interessen in Verbindung mit den Hauptthemen sind:

- Methodische Anforderungen, wie Charakterisierung und Infrastruktur
- Umweltschutz und Gesundheitsaspekte





## NANOMAT

**Internet:** <http://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?cid=1088796688084&pagename=nanomat%2FPage%2FHovedSideEng>

**Land:** Norwegen

**Organisation:** The Research Council of Norway

**Zeitraum:** 2002 – 2016, jüngster Call Anfang 2007

**Genehmigte Anträge:** 2003-2006: 75 Projekte

**Fördersumme:** je Projekt 600.000 bis 1,2 Mio. EUR, Gesamt 2007-2016: 82 Mio. EUR

**Projektdauer:** 3 Jahre

**Zuwendungsart:** Zuschüsse bis zu 100%

**Empfänger:** - Universitäten, Forschungsinstitute, Industrie

- Anträge müssen sowohl an MATERA als auch an NANOMAT gestellt werden

Das Programm NANOMAT stellt den norwegischen Teil des europäischen MATERA-Programms (<http://projects.tekes.fi/opencms/opencms/Projects/MATERA/frontpage.html>) dar.

Das Programm zielt allgemein auf die Gebiete Nanowissenschaft, Nanotechnologie und Neue Materialien. Forschung und Industrie sollen gleichermaßen gefördert werden. Ein wichtiger Teil ist die Entwicklung von Folgeprojekten für Vorhaben des vorangegangenen Programms „National strategy for nanoscience and nanotechnology“ (2002-2006) mit Blick auf die Studie “Advanced Materials Norway 2020” (2004).

Schlüsselgebiete sind:

- Energie und Umwelt,
- Mikrosystemtechnik,
- Gesundheit und Biotechnologie,
- Ozean und Nahrung.

Besonders hervorgehoben werden:

- Nanostrukturierte Funktionsmaterialien,
- Bionanowissenschaft und Bionanotechnologie,
- Gesundheit, Umweltschutz und Risikobewertung.

Ein nationales Kompetenznetzwerk mit zwei Zentren soll aufgebaut werden.

**Rahmenprogramm des Ministry of Economy, Trade and Industry (METI): “Industrial Technology Research and Development”**



**Internet:** <http://www.nedo.go.jp/english/activities/index3.html#4>

**Land:** Japan

**Organisation:** New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), finanziert von Ministry of Economy, Trade and Industry (METI)

**Zeitraum:** seit 2001

**Genehmigte Anträge:** 2006/2007 laufen 25 Projekte

**Fördersumme:** gesamt 2007 etwa 7,2 Mrd. EUR

**Projektdauer:** bis zu 6 Jahren

**Zuwendungsart:** Zuschüsse

**Empfänger:** Verbände aus Forschung und Industrie

Die Aktivitäten des NEDO umfassen im Berichtszeitraum 2006/2007 25 öffentlich geförderte Projekte im Bereich Nano- und Materialtechnologie mit einem Gesamtbudget von 12,04 Mrd. Yen  $\approx$  7,2 Mrd. Euro (FY 2005 16,3 Mrd. Yen). Eine spezielle Ausschreibung mit bestimmten Schwerpunkten gibt es nicht.

Nanotechnologie 4,94 Mrd. Yen (die Zahlen beschreiben die Fördersumme in Yen)

- R&D on Nanostructured Polymeric Materials (630 Mio. Yen)
- Nanotechnology Metal Project (240 Mio. Yen)
- Nanostructure Coating Project (330 Mio. Yen)
- High-efficiency Ultraviolet Semiconductor Emitter Project (330 Mio. Yen)
- High-efficiency Processing Technology for Three-dimensional Optical Devices (370 Mio. Yen)
- Carbon Nanotube Capacitor Development Project (290 Mio. Yen)
- Research and Development of Nanodevices for Practical Utilization of Nanotechnology (2220 Mio. Yen)
- Nanotechnology Material Metrology Project (260 Mio. Yen)
- R&D of Nanoscale Certified Reference Materials Project (270 Mio. Yen)

Materialtechnologie 7,1 Mrd. Yen

- Development of a High-efficiency, High-temperature Hydrogen Separation Membrane (350 Mio. Yen)
- Advanced Ceramic Reactor Project (570 Mio. Yen)

- Project to Develop Next-generation FTTH-purpose Organic Components (480 Mio. Yen)
- Technological Development of Superflexible Display Components (530 Mio. Yen)
- Next-generation Nanostructured Photonic Device and Process Technology (350 Mio. Yen)
- Development of Mat. Surface Control Technology for Low Friction Loss, High-efficiency Driving Devices (430 Mio. Yen)
- Development of a High-efficiency Thermo-electric Conversion System (240 Mio. Yen)
- Basic Technology Development for Fiber Materials Having Advanced Functions and New Structures (860 Mio. Yen)
- Aluminum Production & Fabrication Technology Development Useful for Automobile Light-weighting (290 Mio. Yen)
- Development of Basic Technology for New Environment-conscious Ultrafine-grained Steel Production (570 Mio. Yen)
- R&D of Carbon Fiber-reinforced Composite Materials to Reduce Automobile Weight (570 Mio. Yen)
- Processing Technology for Metallic Glasses (400 Mio. Yen)
- Integrated Development of Materials and Processing Technology for High Precision Components (170 Mio. Yen)
- Development of Microspace and Nanospace Reaction Environment Technology for Functional Materials (570 Mio. Yen)
- Forged Magnesium Parts Technological Development Project (290 Mio. Yen)
- Infrastructure Development to Evaluate Next-generation Advanced Component Development (430 Mio. Yen)

**The National Basic Research Program (973 Program)****Internet:** <http://www.973.gov.cn/English/AreaItem.aspx?catid=06>**Land:** China**Organisation:** Ministry of Science and Technology**Zeitraum:** seit 1997**Genehmigte Anträge:** 14 laufende im Bereich Materialien (Internetseite möglicherweise nicht mehr aktuell)**Durchschnittliche Fördersumme:****Empfänger:** Forschungsverbände

Das Grundlagenprogramm 973 deckt aufgeteilt in 7 Schwerpunkte die gesamte Technologieforschung ab. Dies sind Agriculture (12 Projekte), Energy (9), Information (12), Resource and Environment (15), Population and Health (20), Synthesis and Frontier Science (22) und die Materialforschung mit 14 Projekten.

Die geförderten Projekte im Einzelnen sind nachfolgend aufgezählt. Genauere Informationen zu Förderzeiträumen oder –summen waren nicht zu finden.

- Some Fundamental Issues of Functional Ceramics for Information Technologies
- Key Fundamental Research on Organic/Polymeric Light-emitting Materials
- Microstructure and physical property study of materials at nano-scales
- Multi-scale Structures and Properties of Polymer Based Composites
- Study on design and preparation of application-oriented membrane materials
- Basic Studies on the Synthesis of Porous Catalytic Materials with Novel Structure and Excellent Performance
- Properties and Applications of Nanoscale Materials and Structures
- Basic Research for high-performance aluminium materials and highly effective utilization of aluminium resources
- Basic Research on Multi-scale Structures and Performance Improvement
- Basic Research on Tissue Inducing Biomaterials
- Basic Research on High-performance Carbon/Carbon Composites



- Materials and sciences of superconductors and application related fundamental problems
- Basic research on advanced rare earth magnetic and optical materials
- Fundamental study on the multi-functionalities of ultra-light porous materials and structures with innovative configuration



**(Ohne Namen)**

**Internet:** <http://www.rfbr.ru/eng/pics/6166ref/comp2007.pdf>

**Land:** Russland

**Organisation:** The Russian Foundation for Fundamental Research (RFBR)

**Zeitraum:** laufend, letzter Call 2007

**Durchschnittliche Fördersumme:** 1.000 EUR

**Förderdauer:** bis zu 3 Jahren

**Empfänger:** einzelne Wissenschaftler, kleine Forschergruppen

Das jährliche Programm fördert kleinste Projekte in allen Bereichen der Grundlagenforschung:

- (01) mathematics, mechanics and information science;
- (02) physics and astronomy;
- (03) chemistry;
- (04) biology and medical science;
- (05) Earth sciences;
- (06) humanities and social sciences;
- (07) information technologies and computer systems;
- (08) fundamentals of engineering sciences.

Von den insgesamt 32 identifizierten Teilgebieten von (08) sind 8 in der Materialforschung angesiedelt:

- Strength, durability and destruction of materials and structures
- Tribology
- Problems of mechanics in the design of new materials
- Heat-transfer properties of substances and materials, including those under extreme conditions
- Phase equilibriums and transformations
- Development of new structural materials and coatings

- Nano- and membrane technologies
- Organic fuel energy systems
- Hydrogen power engineering

#### 4.3 Kurzbeschreibungen der internationalen Konferenzen

##### **International Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films (ICMCTF)**

23.-27. April 2007, San Diego

**Internet:** <http://www.icmctf.org>,  
<https://www2.avs.org/conferences/icmctf/>

**Fachgebiet:** Oberflächentechnik

**Teilnehmerzahl:** 800

**Vorträge:** 471 (über 200 Poster)

**Hauptschwerpunkte:** insgesamt 13

- Allgemeine (5): Herstellung, Charakterisierung, Mechanisches Verhalten, Anwendung, „New Horizons“
- Anwendungsbezogene (5): Luft- und Raumfahrt, Optik, Brennstoffzelle, Hohe Temperaturen, Hartbeschichtungen
- Technologiebezogene (2): Bioengineered, Nanostrukturiert
- Werkstoffbezogene (1): Kohlenstoff und Nitrid

„New Horizons“ gliederte sich in 5 Sessions:

- 2 Atomistische Untersuchungen und Simulation,
- 1 Neue Synthesen,
- 1 Korrosionsresistente Beschichtungen,
- 1 High Power Impulse Magnetron Sputtering (HIPIMS).

**Vorträge:**

≈ 150 USA	77 Deutschland	114 Taiwan	17 Brasilien
	53 UK	48 Japan	
	49 Frankreich	17 Indien	
	16 Schweden	10 China	

**Aussteller:** Gesamt: 42; u. a.: USA: 33, D: 3, GB und CAN: je 2, NL und F: 1



Erstmalig beschäftigte sich eine eigene Session mit der Technologie des High Power Impulse Magnetron Sputtering (HIPIMS).

Ein wesentlicher Trend bleibt die Untersuchung von Nanoschichten und Nanobeschichtungen. Hierbei wurden das Schichtdesign und der Aufbau von extrem dünnen, sehr homogenen Wechselschichten als besonders vielversprechende Themen mit hohem Nutzungspotenzial, aber auch noch hohem Forschungsbedarf identifiziert.

Branchenbezogen setzt sich der hohe Stellenwert der Luft- und Raumfahrt weiter fort.

Als Zukunftstrend auf Seite der Technologien sind bio-ingenieurwissenschaftlich erzeugte Strukturen und Grenzflächen (Bioengineered Surfaces and Interfaces) festzustellen. 2007 wurde dieses Gebiet als einer von dreizehn Hauptschwerpunkten genannt.

Zu diesen bio-ingenieurwissenschaftlichen Themen zählen vor allem die Beschichtung von Implantatmaterialien mit Hydroxylapatit, aber auch gradierte Schichten aus anderen Werkstoffen bis hin zu Fragestellungen der Selbstorganisation von Schichten.



### **50th SVC ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE**

30. April – 3. Mai 2007, Louisville

**Internet:** <http://www.svc.org/>

**Fachgebiet:** Oberflächentechnik

**Vorträge:** 300 + Poster, Plenary und Keynote Lectures; 42 mit deutscher Beteiligung

#### **Schwerpunkte:**

##### Hot Topic Sessions

- High Power Impulse Magnetron Sputtering (HIPIMS)
- Biomedizinische and pharmazeutische Anwendungen von Vakuumprozessen und Beschichtungen
- Energieerzeugung und –wandlung (Organische Fotovoltaik, Wasserstoff)

##### Plenarvorträge

- Weltraumforschung
- Selbstorganisierende Nanostrukturen in keramischen Schichten

Smart Materials Symposium (Smart Coatings, Nanostructured Materials, Smart Glass)

##### Weitere Sessions

- Plasma Processing

- Tribological and Decorative Coating
- Vacuum Web Coating
- Emerging Technologies
- Large Area Coating
- Optical Coating
- Process Control & Instrumentation

**Aussteller:** Gesamt: 171; hauptsächlich USA, 17 D

Die SVC TechCon gilt in Fachkreisen als die wichtigste internationale Veranstaltung mit integrierter Industrieausstellung auf dem Gebiet der Oberflächentechnik. Da es eine technologieorientierte Konferenz ist, stehen weniger neueste Forschungen, als vielmehr die sichere und kostengünstige Umsetzung in der Industrie im Vordergrund.

Neue Themen gab es auf der SVC 2007 keine. Sowohl „Smart Materials“ als auch „Biomedizinische und pharmazeutische Anwendungen von Vakuumprozessen und Beschichtungen“ waren bereits in den letzten Jahren Schwerpunktthemen.

Auch die HIPIMS-Technologie wurde bereits 2006 angesprochen, jedoch hat sich die Zahl der Vorträge zu diesem Thema etwa verdreifacht, was auf ein stark gestiegenes Interesse und noch immer deutlichen Forschungsbedarf schließen lässt.

### **THE POLYMER PROCESSING SOCIETY 23rd ANNUAL MEETING PPS 23**



27. – 31. Mai 2007, Salvador, Brasilien

**Internet:** <http://www.pps-23.com/>

**Fachgebiet:** Polymere

**Teilnehmerzahl:** über 600

**Vorträge:** ≈ 500 (inkl. Poster)

**Schwerpunkte:**

19 Sessions ( <b>Anzahl der Abstracts, gesamt 495</b> )	Ausgewählt Plenarvorträge:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomaterials <b>12</b></li> <li>• Blow Molding, Thermoforming and Rotomolding <b>9</b></li> <li>• Composites and Nanocomposites <b>99</b></li> <li>• Extrusion and Extrusion Processes <b>22</b></li> <li>• Films, Membranes and Barrier Materials <b>16</b></li> <li>• Industrial Seminars <b>7</b></li> <li>• Injection Molding and Molds <b>32</b></li> <li>• Mixing and Compounding <b>16</b></li> <li>• Morphology and Structure Development <b>28</b></li> <li>• Novel Processing and Applications <b>22</b></li> <li>• Polymer Blends and Alloys <b>33</b></li> <li>• Polymer Foams <b>23</b></li> <li>• Polymers from Renewable Resources <b>34</b></li> <li>• Process Modelling and Simulation <b>41</b></li> <li>• Process Monitoring, Control and Sensors <b>14</b></li> <li>• Reactive Processing <b>9</b></li> <li>• Recycling / Reusing of Polymers <b>27</b></li> <li>• Rheology and Rheometry <b>29</b></li> <li>• Stabilization and Degradability <b>22</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Functional Fillers for Plastics: From Micro- to Nano- to Bio-composites</li> <li>• New trends in nanomaterials and nanotechnology: facts and challenges</li> <li>• Control of higher-order structure of fibers through modification of Melt Spinning Process</li> <li>• Nano-scale phenomena in polymer processing</li> <li>• Biobased polymers: challenges and opportunities</li> </ul>

Das Annual Meeting der Polymer Processing Society ist die weltgrößte internationale Tagungsreihe auf dem Gebiet der Kunststofftechnik. Im Vergleich mit den Sessionthemen der letzten beiden Jahre gibt es wenige Veränderungen, welche auf neue Trends hinweisen.

Biomaterialien sind zwar kein neues Thema in der Kunststoffforschung, aber erstmals wurde eine eigene Session dafür ausgerichtet. Bei den Schmelzprozessen wird das Rotomolding erstmals als Schwerpunkt genannt. Sessions mit Nanotechnologie als Schwerpunkt sind auch nicht neu, jedoch ist ihr Umfang stark gestiegen. Das Gleiche, wenn auch in abgeschwächter Form, gilt für Polymere aus nachwachsenden Rohstoffen sowie für Modellierung und Simulation.

In der Session Novel Processing and Applications beschäftigte sich die Mehrzahl der Beiträge mit etablierten Rapid-Prototyping Verfahren. Der Trend geht hierbei zu kleineren und zu gradierten Bauteilen.

## 10. International Conference and Exhibition of the European Ceramic Society

17. Juni – 21. Juni 2007, Berlin

**Internet:** <http://www.ecers2007berlin.de>

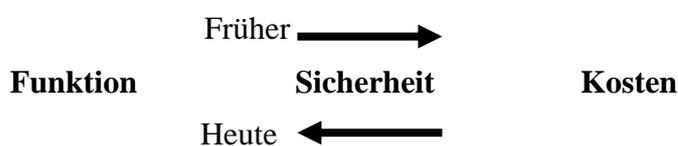
**Fachgebiet:** Keramik

### Schwerpunkte:

- Basic science, design, modelling and simulation
- Innovative processing and synthesis
- Electroceramics
- Bioceramics
- Engineering ceramics and composites
- Nanomaterials
- Silicates and traditional ceramics
- Refractories
- Porous functional ceramics
- Application of ceramics
- Transparent Ceramics

Die ECERS Konferenz ist eine sehr große Veranstaltung mit 10 Parallelvorträgen. Eine große Zahl an Teilnehmern kam aus Osteuropa.

Den Auftakt bildete eine interessante Plenary-Lecture von Dr. Wolfgang Rossner (Siemens AG). Es wurden sogenannte „global megatrends“ (Urbanisierung und demographischer Wandel) und ihr Einfluss auf technologische Bereiche (Energie und Transport; Umweltschutz; Automatisierung; Infrastruktur; Gesundheitswesen) identifiziert. Zudem wurde die Umkehrung der Prioritäten in der Werkstoffforschung aufgezeigt:



Sehr großen Publikumszuspruch fanden die Sessions: Umweltschutz, Poröse Keramik (besonders Zeolithe), transparente Keramik (besonders als Panzerung) und Biokeramik. Ungebrochen wird die herausragende Bedeutung der Nanotechnologien gesehen.

Die Simulation und Modellierung gilt als sehr wichtiges Thema, jedoch ist sie (scheinbar) nur einem kleinen Expertenkreis zugänglich.





## 5 FAZIT

Aus der Vielzahl der ausgewerteten Analysen und weltweiten FuE-Aktivitäten lassen sich die im Folgenden zusammengefassten Werkstoff-trends ableiten.

Aus Sicht des Anwenderbedarfs („Demand Pull“) und der Marktattraktivität („Market Pull“) werden **innovative Leichtbaumaterialien**, insbesondere im Hinblick auf globale Ziele zur Verringerung des Energiebedarfs, an Bedeutung zunehmen.

Im Leichtbausektor werden für die nächsten Jahre Nachfrage- und Produktionssteigerungen von im Mittel etwa 10 % pro Jahr prognostiziert, was deutlich über den Erwartungen für etablierte Materialien und Massenwerkstoffe liegt. Insgesamt wird hier bis 2011 ein globales Marktvolumen von mehr als 90 Mrd € erwartet, wobei sich die einzelnen Leichtbausegmente jedoch unterschiedlich entwickeln werden.

Neben der Entwicklung **hochwertiger Stahlsorten** (AHSS, „superbiegsame“ Stähle etc.) gehören insbesondere **Leichtmetall-Legierungen** (z.B. Al, Mg, Ti), **Faserverbundwerkstoffe** (Endlosfaserverstärkte Kunststoffe) sowie **Polymer- und Metallschäume** zu den favorisierten Werkstoffen. Auch **Hochleistungspolymere** (z.B. Hochtemperatur-Thermoplaste, Ceramere) spielen im Leichtbau eine zunehmende Rolle. Aufgrund der intensiven Forschung der letzten Jahrzehnte und des Wettbewerbsdruckes werden hier bereits kurz- und mittelfristig marktfähige Werkstofflösungen erwartet.

Technologiegetrieben („Technology Push“) und mit einem eher längerfristigen Zeithorizont werden folgende Werkstoffe unterstützt durch intensive Forschung weiterentwickelt:

- **Intelligente Materialien** (u.a. elektroaktive Materialien, Formgedächtnispolymere, intelligente Textilien)
- **Nanomaterialien** (u.a. Kohlenstoff-Nanoröhren, Graphene, Nanokomposite, Dendrimere, Thermoelektrika)
- **Naturstoffe** („weiße Biotechnologie“, u.a. Biopolymere, Biokeramiken, Spinnenseide)
- **Biomaterialien** (u.a. auch Biomimetische Materialien z.B. für Drug Delivery, Implantate, Neurosensor-Prothesen, Tracer, Labels oder Kontrastmittel für bildgebende Diagnoseverfahren, Mikro-Array- und Lab-on-a-chip-Technologien)

Zentrale übergeordnete Themen in der Forschung und Entwicklung von neuen Werkstoffen sind:

- **Simulation und Modellierung** wird verstärkt eingesetzt werden, um die physikalischen Eigenschaften eines Materials ausgehend von seinem mikro- oder nanoskopischen Aufbau zu bestimmen,

das Verhalten eines neuen Werkstoffes unter zu erwartenden Anwendungsbedingungen vorherzusagen, die Entwicklung komplexer Werkstoffe mit maßgeschneiderten Eigenschaften zu unterstützen sowie Produktions- und Verarbeitungsprozesse zu optimieren. Einen besonderen Schwerpunkt wird die Untersuchung der Übertragbarkeit der virtuellen Ergebnisse auf großtechnische, vielschichtige Prozesse einnehmen.

- Bei der **Entwicklung neuer Werkstoffe** besteht ebenfalls eine große Hürde darin, die entsprechenden **Fertigungsverfahren** zu optimieren und vom Labormaßstab in die technische Produktion zu überführen, um sie industrietauglich und kosteneffizient herstellen zu können (z. B. Faserverbundwerkstoffe).
- Die Entwicklung **umweltfreundlicher Materialien** und Herstellungsverfahren ist ein vordringliches Anliegen der kurz- und mittelfristigen Materialforschung. Durch umfassende Analysen der Kosten, des Ressourcen- und Energieverbrauchs sowie der umweltrelevanten Emissionen über den gesamten Lebenszyklus von der Herstellung über die Verarbeitung und Anwendung bis zur Wiederverwertung eines Produktes oder einer Komponente aus einem neuen Werkstoff können die ökonomischen und ökologischen Vorteile der neuen Technologie gegenüber etablierten Materialien deutlich gemacht werden. Die konsequente Beachtung von **Nachhaltigkeit und Rezyklierbarkeit** soll zu einer deutlichen Energieeinsparung und Abfallvermeidung führen.

---

## ANHANG

Übersicht aller gesichteten Innovations- und Technologieanalysen, Marktstudien, Förderprogramme und Konferenzen

Innovationsanalysen, Technologieanalysen / Roadmaps	Titel	Insitution	Land / Region	Datum	Werkstoffklassen										Branchen / Märkte					Zeithorizont				
					Metalle	Keramik	Glas	Verbundwerkstoffe	Naturstoffe	Nanomaterialien	"Smart Materials"	Energie/Umweltechnik	Medizin/Gesundheit/Lifestyle	Maschinen- und Anlagenbau	Transport	Luft	Hoch- und Tiefbau							
	A Strategic Review of the Surface Engineering Industry in the UK	National Metals Technology Centre (NAMTEC)	UK	2006	X																		k. A.	
	A Strategic Review of the Titanium Industry in the UK	National Metals Technology Centre (NAMTEC)	UK	2006	X																			k. A.
	A Trans-National Analysis of Results and Implications of Industrially-oriented Technology Foresight Studies	IPTS	Frankreich, Italien, Spanien, Portugal	2002	X	X	X	X	X															
	Advanced Energetic Materials	National Research Council USA	USA	2004				X	X															
	Aerogel-Based Insulation for Industrial Steam Distribution Systems	US Department of Energy	USA	2006	X			X	X															ca 10 Jahre
	Anforderungen an die Fertigungstechnik von morgen - Wie verändern sich Variantenzahlen, Losgrößen, Materialeinsatz, Genauigkeitsanforderungen und Produktlebenszyklen tatsächlich?	FIIG ISI	Deutschland	2005				X																
	Canadian Aluminium Transformation Technology Roadmap	Réseau Trans-Al Inc.; National Research Council Canada	Kanada	2006	X																			0-3, 3-10, >10 Jahre
	Carbon Nanomaterials-Graphene joins the Family	Materials Today	global	2007						X														>2020
	Ceramere - Innovative High Performance Polymers and Additives	Ceramer GmbH	global	2003	X	X																		
	Chemical Industry R&D Roadmap for Nanomaterials By Design: From Fundamentals to Function	Chemical Industry Vision 2020 Technology Partnership; Energetics, Inc.	USA	2003						X														5, 10, 15, 20 Jahre

Innovationsanalysen, Technologieanalysen / Roadmaps	Titel	Institution	Land / Region	Datum	Werkstoffklassen								Branchen / Märkte					Zeithorizont		
					Metalle	Polymere	Keramik	Glas	Verbundwerkstoffe	Naturstoffe	Nanomaterialen	"Smart Materials"	Energie/Umwelttechnik	Medizin/Gesundheit/Lifestyle	Maschinen- und Anlagenbau	Transport	Ink		Hoch- und Tiefbau	
	Construction 2020: A Vision for Australia's Property and Construction Industry	Cooperative Research Centre for Construction Innovation	Australien	2006	X		X	X											X	2020
	Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umweltechnologie - Innovationspotenziale für Unternehmen	FhG IAO	Deutschland	2005		X					X									
	EuMaT Materials for Life Cycle - Roadmap of the European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Techn. (EuMaT)	European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Techn. (EuMaT)	Europa	2006	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	3-5, 4-10, >10 Jahre
	European Steel Technology Platform - Strategic Research Agenda	European Commission; European Confederation of Iron and Steel Industries (EUROFER)	Europa	2005	X											X				<2010, 2010-2020, >2020
	Herstellung und Charakterisierung von Aerogel-Faser-Verbundwerkstoffen	DLR	Deutschland	2006	X			X								X	X	X		
	Industrial or White Biotechnology - A driver of sustainable growth in Europe	European Technology Platform for Sustainable Chemistry (SusChem)	EU	2005	X	X			X							X				2025
	Innovating for a Better Future - Sustainable Chemistry Strategic Research Agenda 2005	European Technology Platform for Sustainable Chemistry (SusChem)	EU	2005	X	X		X		X						X	X	X		2025
	Innovationsstandort Deutschland - quo vadis? Langfaserverstärkte Thermoplaste (LFT) - Entwicklungsstand und Perspektiven	Boston Consulting Group Süddeutsches Kunststoff Zentrum	Deutschland Deutschland	2006 2006	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	ca 10 Jahre ca 5 Jahre
	Materials and Society - From Research to Manufacturing - Report of a Workshop	National Materials Advisory Board	USA	2002	X				X		X					X	X	X		
	Materials in the New Millennium - Responding to Society's Needs	National Materials Advisory Board	USA	2001	X	X		X								X	X	X		
	Materials Research to Meet 21st Century Defense Needs: Interim Report	National Research Council	USA	2001	X				X		X					X	X	X		>2020





Innovationsanalysen, Technologietrends / Roadmaps	Titel	Insitution	Land / Region	Datum	Werkstoffklassen											Branchen / Märkte						Zeithorizont	
					Metalle	Polymere	Keramik	Glas	Verbundwerkstoffe	Naturstoffe	Nanomaterialen	"Smart Materials"	Energie/Umweltechnik	Medizin/Gesundheit/Lifestyle	Maschinen- und Anlagenbau	Transport	TUK	Hoch- und Tiefbau					
	Technology Roadmap for Composites in the Construction Industry	National Composites Network (NCN), DTI	UK	2006					X													X	k. A.
	Technology Roadmap for Composites in the Marine Industry	National Composites Network (NCN), DTI	UK	2006					X													X	k. A.
	Technology Roadmap for the Metal-Matrix Composites Industry	National Composites Network; DTI	UK	2006					X													X	2010
	The Global Technology Revolution - Bio/Nano/Materials Trends and Their-Synergies with Information Technology by 2015	National Intelligence Council	USA	2001							X											X	2015
	The Global Technology Revolution 2020, In-Depth Analyses - Bio/Nano/Materials/Information Trends, Drivers, Barriers, and Social Implications	RAND	USA/global	2006					X		X	X										X	2020
	The vision for 2025 and beyond - A European Technology Platform for Sustainable Chemistry	European Technology Platform for Sustainable Chemistry (SusChem)	EU	2005					X													X	>2025
Marktstudien	European Markets for Polymer Foams	Frost & Sullivan	Europa	2005	X																	X	2011
	Specialty Foams	Freedonia Group	USA	2005	X																	X	2014
	Aerogels	BCC research	global	2006	X																	X	2011
	Anode & Cathode Foil Markets for Aluminium Electrolytic Capacitors: 2005-2010	Paumanok Publications	USA	2005	X																	X	2010
Capacitor Grade Tantalum Metal Powder Market Forecasts: 2007-2011	Paumanok Publications	Paumanok Publications	USA	2007	X																	X	2011





Förderprogramme	Titel	Institution	Land / Region	Datum	Werkstoffklassen								Branchen / Märkte					Zeithorizont
					Metalle	Polymer	Keramik	Glas	Verbundwerkstoffe	Naturstoffe	Nanomaterialien	"Smart Materials"	Energie/Umwelttechnik	Medizin/Gesundheit/Lifestyle	Maschinen- und Anlagenbau	Transport	Ink	
	Polymers	The National Science Foundation (NSF)	USA		X										X			
	Ceramics	The National Science Foundation (NSF)	USA			X	X	X							X			
	Metals	The National Science Foundation (NSF)	USA					X							X	X	X	
	Electronic Materials	The National Science Foundation (NSF)	USA		X					X					X			
	Mechanics and Structures of Materials	The National Science Foundation (NSF)	USA		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Materials World Network: Cooperative Activity in Materials Research between US Investigators and their Counterparts Abroad (MWV)	The National Science Foundation (NSF)	USA		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Materials Research Science and Engineering Centers (MRSEC)	The National Science Foundation (NSF)	USA	seit 1994	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
	Nano Science & Technology Initiative (NSTI)	Department of Science & Technology (DST)	Indien	seit 2001						X					X	X	X	
	Science & Engineering Research Council - Engineering Sciences	Science & Engineering Research Council (SERC)	Indien					X		X	X	X	X	X	X	X	X	
	COMBIO - Commercialisation of Biomaterials	TEKES The National Technology Agency	Finnland	2003 - 2007	X	X				X				X				
	FinNano Technology Programme	TEKES The National Technology Agency	Finnland	2005 - 2009						X	X	X	X					X
	NANOMAT	The Research Council of Norway	Norwegen	2002 - 2016										X	X	X	X	

