

» Werkstoff- und Nanotechnologien als Innovationstreiber in den Leitmärkten der Zukunft «

Forschungsförderung des BMBF in ausgewählten Bedarfsfeldern

Werkstoff- und Nanotechnologien leisten einen unverzichtbaren Beitrag bei der Lösung drängender Zukunftsfragen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) setzt in seinem Rahmenprogramm „Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING“ mit seiner umfangreichen Förderung gezielt Impulse in den Bereichen Klima/Energie, Gesundheit/Ernährung, Mobilität, Sicherheit und Kommunikation – den zentralen Bedarfsfeldern der Hightech-Strategie der Bundesregierung. Der Artikel gibt anhand von Beispielen aus der Förderung einen Einblick in einen Teil des Maßnahmenspektrums.

Eingebettet in die Hightech-Strategie der Bundesregierung, werden im Rahmen des WING-Programms des BMBF in den zentralen Bedarfsfeldern innovative Lösungen der Werkstoff- und Nanotechnologien mit mittelfristigem marktwirtschaftlichen Umsetzungshorizont gefördert. Das Programm wird über Bekanntmachungen umgesetzt, indem entweder auf konkrete Innovationsfelder fokussiert oder auf spezifische Zielgruppen (insbesondere Klein- und Mittlere Unternehmen) orientiert wird. Im Folgenden wird anhand von Beispielen ein Überblick zu den Förderschwerpunkten Gesundheit, Urbane Technologien, Information und Kommunikation sowie Nachhaltige Produktion gegeben.

Mit Werkstoff- und Nanotechnologien den Leitmarkt Gesundheit stärken

Die deutsche Gesundheitswirtschaft ist eine der wichtigsten Zukunftsbranchen des Lan-

des, ihr Ausbau ist von einem kontinuierlichen Innovationsschub abhängig. Hierzu gilt es, Schlüsseltechnologien frühzeitig in der angewandten Forschung zu adressieren und in den Unternehmen zu etablieren. Angesichts langer Entwicklungszeiten ist die technologische Forschung in hohem Maße gefordert, sich konsequent am medizinischen Bedarf auszurichten. Insbesondere sind grundlegende Trends in der Gesundheitsforschung wie die Individualisierte Medizin oder die Regenerative Medizin rechtzeitig in technologisch-industrielle Dimensionen umzusetzen. Werkstoff- und Nanotechnologien kommt hierbei auf zahlreichen Innovationsfeldern eine Schlüsselrolle zu.

Seien es intelligente oder bioaktive Implantate, seien es Zellprodukte oder künstlicher Organersatz, Drug-Delivery-Systeme oder die Molekulare Diagnostik – alle diese Innovationsfelder profitieren von Lösungsansätzen aus den Werkstoff- und Nanotechnologien. Das BMBF-Programm WING bündelt die industrielle Forschung auf diesen technologischen Schlüsselfeldern im BMBF-Maßnahmencluster Medi-WING.¹

So wurde bzw. wird in den BMBF-Fördermaßnahmen „Nanotechnologien für die Gesundheit – NanoForLife²“ und der „Technologie-Initiative Molekulare Bildgebung – MoBi-Tech³“ beispielsweise die technologische Realisation des Magnetic Particle Imaging – ein völlig neuartiges Verfahren für die medizinische Bildgebung unter Einsatz maßgeschneiderter Nanopartikel als injizierbare Sonden – in den BMBF-Verbundprojekten „MAGIC“ und „MAPIT“ vorangetrieben.

Klare Bilder mit magnetischen Teilchen vom Feinsten

In den BMBF-Verbundprojekten „MAGIC“ und „MAPIT“ etablieren Industriekonsortien unter Federführung von Philips, Hamburg ein völlig neues Verfahren für die Medizinische Bildgebung.

Magnetic Particle Imaging (MPI) ist ein neues Verfahren für die medizinische Bildgebung, mit dem sich die lokale Konzentration von magnetischen Nanopartikeln (genannt Tracer oder Sonden) quantitativ sowohl mit hoher Empfindlichkeit als auch

¹ Weitere Informationen unter www.Medi-WING.de

² Weitere Informationen unter www.nanoforlife.de

³ Weitere Informationen unter www.bmbf.de/mobitech



Experimentelles MPI-System für Bildgebung an Mäusen (Foto: Philips, Hamburg).

mit hervorragender räumlicher Auflösung in Echtzeit darstellen lässt. Diese Vorteile gegenüber etablierten Verfahren lassen ein hohes klinisches Potenzial in vielen Anwendungen erwarten: Umfassendere und kürzere Untersuchungen mit verbesserter Aussagekraft unter Verzicht auf Röntgenstrahlung oder radioaktive Materialien stellen einen unmittelbar spürbaren Fortschritt für den Patienten dar. Auch die Logistik im Krankenhaus wird vereinfacht, da keine aufwändigen Zulassungen für den Umgang

mit radioaktiven Materialien nötig sind und kürzere Untersuchungszeiten sich unmittelbar in einer effektiveren Versorgung niederschlagen.

Wie bei der Positronenemissionstomographie (PET) misst MPI nur den injizierten Tracer – es entsteht kein Signal aus dem Körper selbst. Die Methode basiert auf der Magnetisierung der Tracer auf Basis nanopartikulärer Eisenoxid-Partikel durch ein externes sinusförmiges Hochfrequenz-Magnetfeld und dem Auslesen der von den Partikeln generierten Oberwellen. Zentrale Aufgabe der Materialforschung ist es deshalb, maßgeschneiderte Partikel mit optimaler Signalantwort zu entwickeln. Das Funktionsprinzip von MPI wurde bereits im Tier nachgewiesen. Bei nahezu 50 3D-Bildern pro Sekunde lässt sich ein schlagendes Mäuseherz problemlos abbilden. MPI liefert damit quantitative Information in Echtzeit und eignet sich daher auch als funktionelle Bildgebungsmethode. Simulationen⁴ zeigen, dass MPI ca. 1000 mal schneller als PET und dabei 100 mal empfindlicher als die Magnetresonanztomographie (MRT) sein kann. Prinzipiell lassen sich mit MPI sogar einzelne Partikel direkt nachweisen. Damit eignet sich das Verfahren exzellent für diverse medizinische Anwendungen bei Herz-Kreislauf- und Krebserkrankungen sowie für die interventionelle Bildgebung.

MPI wurde 2001 in der Philips Forschung, Hamburg erfunden und 2005 erstmals publiziert⁵. Die Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat die Entwicklung eines präklinischen Systems ermöglicht, welches voraussichtlich ab 2012 gemeinsam von den Firmen Philips und Bruker Biospin vermarktet werden wird. In einem Anschlussprojekt – ebenfalls mit BMBF-Förderung – wird ein größeres industriegeführtes Konsortium den Aufbau zweier verschiedener MPI-Ganzkörpersysteme für den klinischen Einsatz und die Kopplung von MPI mit der Magnetresonanztomographie für ein präklinisches System angehen, während gleichzeitig an verbesserten Tracer-Materialien geforscht wird. In Zukunft kann MPI sich zu einer Methode zur molekularen Bildgebung weiterentwickeln, wobei es von Ergebnissen für die Funktionalisierung von Eisenoxid-Nanopartikeln und ihrer Nutzung zur Markierung von Zellen in der Regenerativen Medizin profitieren dürfte.

Neue Werkstoffe für das urbane Umfeld der Zukunft

Die zunehmende Urbanisierung erfordert die gezielte Forschung an neuen Werkstoffen und Technologien. Vor dem Hintergrund des Primats der Ressourcen- und Energieeffizienz ist es zudem dringend geboten, neue Werkstoffe und Materialien zu erarbeiten, um Wohn- und Arbeitsgebäude sowie Verkehrs- und andere Infrastrukturbauten effizienter zu gestalten bzw. zu sanieren. Die Themenvielfalt auf dem Zukunftsmarkt „Urbane Technologien“ reicht dabei von der Baudurchführung und Gebäudetechnik über die dezentrale Energieversorgung und die intelligente Energienutzung bis hin zu Verkehrsinfrastrukturen.

Gerade bei den Verkehrsinfrastrukturen in Deutschland besteht die Notwendigkeit bautechnischer Instandsetzung, Erneuerung und Erweiterung, wozu neue Baumaterialien erheblich beitragen können. Eine dieser Möglichkeiten ist ultra-hochfester Beton (UHPC). Hierfür wird im BMBF-Rahmen-



Demonstrator eines MPI-Systems für die Bildgebung an Kleintieren (Foto: Philips, Hamburg).

⁴ (Veröffentlichung abrufbar unter <http://www.theoryinstitute.org/Krishnan.pdf>)

⁵ (Veröffentlichung kostenlos abrufbar bei: <http://iopscience.iop.org/0031-9155/54/5/L01/media>)

programm WING innerhalb der Fördermaßnahme „Nanotechnologie im Bauwesen – NanoTecture“ das Verbundprojekt „Multifunktionale Fahrbahn aus nanooptimiertem Ultra-Hochleistungsbeton“ gefördert, das sich die Erforschung neuartiger Baustoffe und Bauweisen für Betonfahrbahnen zum Ziel gesetzt hat.

Mehr Funktion auf die Straße bringen

BMBF-Verbundprojekt „FAHRBAHN“ unter Federführung der Fa. Müller-BBM GmbH erforscht und demonstriert innovative Ansätze zu einer multifunktionalen Betonfahrbahn.

In dem dreijährigen BMBF-Verbundprojekt werden Verfahren für eine hoch tragfähige, lärmarme, ressourcensparende und dauerhafte Betonfahrbahn erarbeitet. Hierfür soll dieser neuartige Baustoff erstmals im Straßenbau eingesetzt werden. Das Konsortium setzt sich aus neun Partnern aus Mittelstand und Großindustrie, aus der universitären Forschung und einer öffentlichen Forschungseinrichtung zusammen. Die beteiligten Partner verfügen über langjährige Erfahrung auf dem Gebiet des Ultra-Hochleistungsbetons, der Rollgeräuschentstehung, der Entwicklung innovativer Bauverfahren und der Baubetreuung für Sonderbauweisen im Straßenbau. Damit steht das Konsortium für eine kompetente Abwicklung in allen Phasen des Projekts.

Die Lärminderung durch Reduktion der Reifen-Fahrbahn-Geräusche und die sicherheitsrelevanten Oberflächeneigenschaften

Griffigkeit, Nassgriff, Entwässerung und Wasserverdrängung sollen mittels einer geometrisch definierten, reproduzierbaren und dauerhaften Oberflächentexturierung erreicht werden. Unter Einsatz nanotechnologischer Methoden und nanoskaliger Materialien sollen die angestrebten Eigenschaften in einem industrierelevanten Prozess erzielt werden. Es sind Forschungsarbeiten erforderlich zur stofflichen und produktionstechnischen Anpassung des Ausgangsmaterials an die besonderen Belange des Straßenbaus und zur Ausarbeitung eines geeigneten Texturierungsverfahrens. Weitere Arbeiten betreffen die Verminderung des Rohstoff- und Energieverbrauchs sowie die Emissionsbelastung bei Bau und Betrieb der zu entwickelnden Betonfahrbahn.

Im Erfolgsfall steht im Ergebnis des Projekts ein innovatives, praxistaugliches Bauverfahren für dauerhafte, lärmarme und luftschadstoffreduzierende Betonfahrbahnen mit reproduzierbaren Eigenschaften zur Verfügung. Durch eine damit verfügbare bau- und umwelttechnisch leistungsfähige Bauweise und längere Nutzungszeiten können die Investitionen für den Baulastträger deutlich reduziert werden.

Neue Materialien für die Informations- und Kommunikationstechnologien der nächsten Generation

Als maßgebliche Innovationstreiber moderner Informations- und Kommunikationstechnologien werden von den meisten Menschen Elektronik und Informatik angese-

hen. Das ist auch richtig, aber nur ein Teil der Wahrheit. Einen wenigstens ebenso großen Anteil am Aufstieg dieser Technologien hat die Materialwissenschaft.

Keine Anwendung zuvor hat derart hohe Anforderungen an das Material gestellt und war so abhängig davon. Wäre es den Wissenschaftlern zum Beispiel nicht gelungen, zuverlässige Gate-Oxide für Transistoren herzustellen, wäre die Miniaturisierung auch bei aller Anstrengung der Schaltungstechnik nicht vorangekommen. Damit wären sehr speicher- und rechenintensive Anwendungen, die für heutige PCs völlig normal sind, zum Beispiel das Schneiden und Bearbeiten von Urlaubsfilmen am Rechner, nur auf wenigen Spezialcomputern möglich, die vom Platz- und Kostenaufwand weit außerhalb der Möglichkeiten des Normalverbrauchers lägen. Auch das Silizium selbst, auf dessen Grundlage unsere heutige Computerindustrie – aber auch die Photovoltaik – basiert, ist in seiner nutzbaren Form äußerst anspruchsvoll hinsichtlich der Herstellung. Ein Siliziumeinkristall ist in Reinheiten herstellbar, die bei keinem anderen Material entsprechender Größe erzeugt werden können, und damit in unserem Sonnensystem einzigartig.

Die moderne Informations- und Kommunikationstechnologie ist also ganz wesentlich von den physikalischen Eigenschaften der verwendeten Materialien abhängig sowie der Möglichkeit, diese in kleinsten Größenskalen zu bearbeiten und herzustellen. Materialien spielen in allen Feldern der Elektronik eine zentrale Rolle, so dass Mobiltelefone, Computer, Flachbildfernseher und praktisch



Herkömmlicher Einbau einer Betonfahrbahn mit Gleitschalungsfertiger (Foto: Eurovia Beton GmbH).



Detailansicht des Gleitschalungsfertigers (Foto: VDI Technologiezentrum GmbH).



Mobile Mischanlage zur Betonherstellung (Foto: VDI Technologiezentrum GmbH).



Vorbereiteter Unterbau für eine Betonfahrbahn (Foto: VDI Technologiezentrum GmbH).

jede andere Anwendung elektronischer Systeme von Fortschritten in der Forschung auf diesem Gebiet profitieren. Auch für zukünftige Trends im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien, wie z. B. der organischen Elektronik oder Post-CMOS-Technologien, bleiben neue Materialien ein zentraler Forschungsschwerpunkt, den es im Bereich des BMBF-Rahmenprogramms WING zu adressieren gilt. Beispielsweise so, wie dies im Fall des BMBF-Verbundprojekts „INNOTRANS“ geschieht, in dem durch Verheiratung zweier innovativer Technologien die optische Datenübertragung zu neuen Höhenflügen ansetzt.

Die optische Datenautobahn wird breiter

Ein Konsortium unter Federführung der Fa. Innolume GmbH geht die Integration photonischer und elektronischer Funktionalität in einem Bauteil an.

Die Integration photonischer und elektronischer Funktionalität in einem Bauteil ist eine der größten Herausforderungen der Informations- und Kommunikationstechnologie, um den ständig wachsenden Anforderungen der Datenprozessierung und -übertragung unserer Gesellschaft zu begegnen. Die Silizium-Nanophotonik offenbart das Potential, dieses Ziel durch die Einführung der kostengünstigen und massenfertigungstauglichen CMOS-Herstellungstechnologie in die optische Domäne zu erreichen.

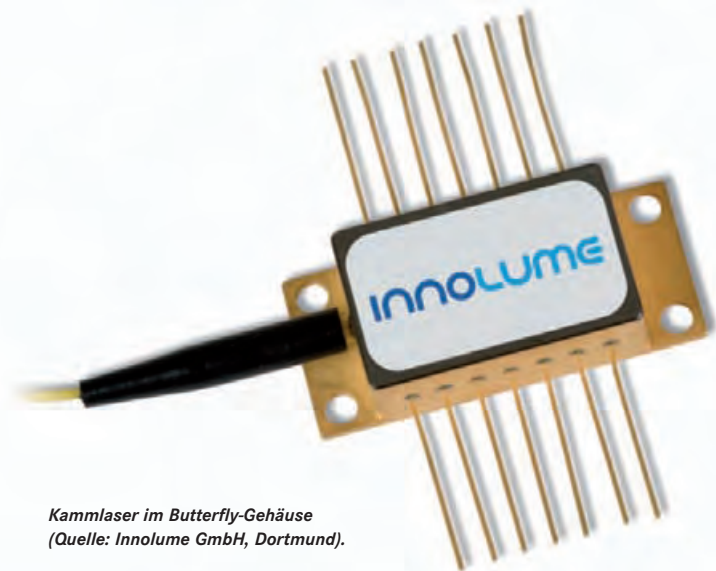
An dieser Stelle beginnt die Arbeit des durch das BMBF geförderten Verbund-

projekts „INNOTRANS“. Es besteht aus drei Teilvorhaben. Die Innolume GmbH hat Expertise im Bereich der Quantenpunktlaser und fertigt im Projekt einen sog. Kammlaser, dessen Lichtspektrum aus vielen diskreten Lichtfrequenzen (Farben) besteht, die jeweils einen eigenen Übertragungskanal darstellen. Wichtig ist hierbei, einen geeigneten Frequenzbereich zu treffen, der üblichen Kommunikationsstandards entspricht, sowie den Kanalabstand ausreichend groß zu wählen und das Signal-Rausch-Verhältnis möglichst groß zu halten.

Der zweite Teil des Projekts, ein Silizium-Nanophotonik-Chip, der elektrische Signale (die zu übertragenden Nutzdaten) den optischen Kanälen des Frequenzkammlasers aufprägen soll, wird in den Teilprojekten der AMO GmbH sowie dem Institut für Halbleitertechnik der RWTH Aachen desi-

gnat, gebaut und charakterisiert. Auf diesem Chip sind als Modulatoren sog. Ringresonatoren enthalten, die jeweils resonant mit einem Übertragungskanal des Kammlasers sind, so dass jeder Resonator genau einen optischen Kanal mit Daten beschreibt. Die Innovation liegt darüber hinaus speziell in der Kombination des Frequenzkammlasers mit den elektrooptischen Modulatoren zu einem Transmitter-Gesamtsystem für Wavelength-Division-Multiplexing Optical Interconnects, d. h. optische Datenübertragung auf mehreren Lichtfrequenzen parallel und gleichzeitig in einer Faser. Die Zielspezifikation für diesen Transmitter ist eine fehlerfreie Übertragung von 100 Gbit/s Datenrate bei einer Zentralwellenlänge um 1310 nm (das sog. O-Band), verteilt auf 20 Kanäle mit je 5 Gbit/s.

Mit diesen Spezifikationen ist der Transmitter vor allem für kurzreichweitige



Kammlaser im Butterfly-Gehäuse (Quelle: Innolume GmbH, Dortmund).

Datenkommunikation geeignet, wie z. B. optische Interconnects zwischen einzelnen Prozessoren und Peripherie (sog. Chip-to-Chip-Verbindungen) oder zwischen einzelnen Servern in einem Rechencluster (sog. Server-to-Server-Verbindungen). Die Demonstration der Machbarkeit für diese spezifische Anwendung ist daher ebenfalls Ziel des Projektes. Darüber hinaus soll die Implementierung in Bezug auf Funktionalität, Geschwindigkeit und Leistungsverbrauch, aber auch in Bezug auf Herstellungskosten und Rentabilität in den genannten Applikationen evaluiert werden.

Nachdem die Projekthalbzeit bereits erreicht wurde, lassen sich erste Ergebnisse sehen, die sehr vielversprechend sind. Die dynamische Anpassung der Resonatoren an die Laserfrequenzen funktioniert und das Laserspektrum liegt im vorgegebenen Frequenzbereich. Bis zum Ende der Projektlaufzeit gilt es, die zwei Technologien zu verheiraten sowie die angestrebte Datenrate zu erreichen.

Neue Werkstoffe und Nanotechnologien für die Nachhaltige Produktion

Im Bereich der Werkstofftechnologien wird weltweit an neuartigen Funktionswerkstoffen geforscht, welche völlig neue Konzepte in unterschiedlichen Bedarfsfeldern (z. B. Klimaschutz, Mobilität, Gesundheit, Energie, Information- und Kommunikation, etc.) ermöglichen. Die Nanotechnologie kann hier völlig neue Möglichkeiten in Bezug auf die Eigenschaften neuer Werkstoffe bereitstellen. So erobern Produkte mit nanotechnologischen Komponenten in wachsender Zahl den Markt. Zu nennen sind hier beispielsweise kratzfeste bzw. schmutzabweisende Beschichtungen, organische Solarzellen bzw. Elektronik.

Neben dem Werkstoff ist die Prozesskette zur Rohstoffherstellung und Bauteilfertigung von zentraler Bedeutung, um letztendlich ein Produkt erfolgreich an den Markt zu bringen. Zudem gewinnen Aspekte der Nachhaltigkeit für Produktionsprozesse und Materialauswahl einen immer größeren Stellenwert. In den Fokus des BMBF-Rahmenprogramms WING rücken daher verstärkt neue Werkstoffe und Prozesse, die die Entwicklung

biobasierter Produkte und die stärkere Nutzung nachwachsender Rohstoffe insbesondere für die Herstellung von Polymeren adressieren. Einen weiteren Fokus bilden innovative Ansätze für die produktionsstaugliche Prozessierung von Materialien in den o. g. Bedarfsfeldern. So wird beispielsweise im Rahmen des laufenden BMBF-Verbundprojekts „SPINEL“ ein neues Verfahren untersucht, um Materialien für Hochleistungssolarzellen später kostengünstig herzustellen zu können.

Mehr Energie aus jeder Zelle

Im BMBF-Verbundprojekt „SPINEL“ steigern Wacker Chemie AG und Siltronic AG die Energieeffizienz und -ausbeute von Photovoltaikanwendungen.

2010 hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) das Jahr der Zukunft der Energie ausgerufen. Nicht ohne Grund, denn immer knapper werdende Ressourcen, die fortschreitende Klimaproblematik und nicht zuletzt der stetig steigende weltweite Energiebedarf stellen die Menschheit vor gewaltige Herausforderungen. Die Photovoltaik ist einer der vielversprechendsten Lösungsansätze, dementsprechend arbeitet die Industrie mit Hochdruck daran, günstigere und gleichzeitig effizientere Solarzellen herzustellen.

Die besten kommerziell erhältlichen Solarzellen weisen aktuell einen Wirkungsgrad von knapp über 20 Prozent auf. Allerdings sind dafür als Substratmaterial Siliziumwafer mit einer sehr hohen Lebensdauer der Minoritätsladungsträger ($>100 \mu\text{s}$) notwendig, die auch im langjährigen Betrieb möglichst stabil bleiben sollten. Momentan ist dies nur erreichbar, wenn hochreines und versetzungsfreies Silizium verwendet wird.

Bislang werden Siliziumwafer für die Hochleistungsphotovoltaik aus Einkristallen gefertigt, die mit dem Tiegelziehverfahren (Czochralski-Prozess) hergestellt wurden. Dabei ist aber der hohe Sauerstoffgehalt nachteilig, der zu einer Degradation des Zellwirkungsgrads durch Bor-Sauerstoff-Komplexe führt. Nach dem Zonenziehverfahren (Floating Zone, FZ) hergestellte Kristalle weisen zwar die gewünschten Eigenschaften auf, die Herstellungskosten dieser Kristalle sind für Massenanwendungen in der Solarindustrie jedoch viel zu hoch.

Hier setzt das durch das BMBF geförderte Verbundprojekt „SPINEL“ an. Es besteht aus zwei Teilvorhaben: Im ersten Teil entwickelt die Siltronic AG ein kontinuierliches, tiegelfreies Einkristallziehverfahren. Es kann, ähnlich wie das FZ-Verfahren,



Granuläres Polysilizium (Foto: Wacker Chemie AG).



Mitarbeiter mit Silizium-Einkristall (Foto: Siltronic AG).

ohne Tiegel betrieben werden, verwendet aber anstatt des teuren, stangenförmigen Polysiliziums günstigeres Granulatsilizium. Dadurch können die Herstellungskosten so stark gesenkt werden, dass dieses Material auch für die Solarindustrie interessant wird. Die Vorteile bestehen aber nicht nur in der Reduzierung der Kosten pro Peak-Watt (Wp), sondern auch in dem niedrigeren Flächenbedarf pro installiertem Wp.

Für diesen neuartigen Ziehprozess ist allerdings granulares Polysilizium notwendig, das sich durch einen drastisch reduzierten Verunreinigungspegel und einen sehr niedrigen Staubgehalt auszeichnet. Deshalb übernimmt die Wacker Chemie AG im zweiten Teil des Verbundprojekts die Weiterentwicklung ihres Prozesses zur Herstellung von granulearem Polysilizium, um die Produkteigenschaften auf die neue Anwendung anzupassen.

Um das granulare Polysilizium in der geforderten Qualität zu liefern, hat WACKER zuerst die nötigen Analysemethoden entwickelt bzw. verbessert. Anschließend wurden die für die Kontamination relevanten Quellen identifiziert; die Reduktion des Eintrags mittels Anlagen- und Prozessänderungen ist in der Umsetzung begriffen. Zur Absenkung des Staubgehalts wird eine neue Entstaubungsmethode entwickelt und ins Gesamtverfahren integriert. In beiden Fällen erfolgt eine Ergebniskontrolle in den Kristallziehversuchen. Die Streuung des

Metallpegels im Granulat soll durch Prozessstabilisierung reduziert und die Auswirkung auf die Materialeigenschaften der Kristalle untersucht werden.

Die ersten Ergebnisse sind vielversprechend. 100 mm-Material der Orientierung <100>, das mit dem neuen Ziehverfahren gezogen wurde, wird am Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg auf den Zellwirkungsgrad getestet. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich mit dem neuen Verfahren Solarzellenwirkungsgrade erzielen lassen, die vergleichbar mit Solarzellen aus klassischem FZ-Material sind. Nun steht die Erhöhung des Kristalldurchmessers bis auf den geforderten Durchmesser von 150 mm an.

KONTAKT :

*Dr. Oliver Bujok
Dr. Ralf Fellenberg
Dr. Gunther Hasse
Dr.-Ing. Joachim P. Kloock
VDI Technologiezentrum GmbH
– Projekträger des BMBF –
VDI-Platz 1
40468 Düsseldorf
Telefon: 0211 6214-476
E-Mail: bujok@vdi.de*

*Internet:
<http://www.bmbf.de/de/3780.php>
<http://www.medi-wing.de>*