

Die Bundesregierung möchte die Umsetzung von Ideen in Produkte und Dienstleistungen vorantreiben. Welche Themen dazu wie gefördert werden, hat sie im August 2006 in der »Hightech-Strategie für Deutschland« bekannt gegeben.

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist ein wichtiger Partner bei diesem Vorhaben. Sie will den Weg der Ideen aus der Wissenschaft hin zu neuen Produkten und Dienstleistungen beschleunigen und effektiver gestalten. Folgende vierzehn Themen der Hightech-Strategie für Deutschland werden von der Fraunhofer-Forschung besonders intensiv bearbeitet:

Gesundheitsforschung und Medizintechnik

Sicherheitstechnologien

Pflanzen

Energietechnologien

Umwelttechnologien

Informations- und Kommunikationstechnologien

Fahrzeug- und Verkehrstechnologien

Dienstleistungen

**Nanotechnologien**

Kleiner Maßstab mit großem wirtschaftlichem Potenzial

Biotechnologie

Mikrosystemtechnik

Optische Technologien

Werkstofftechnologien

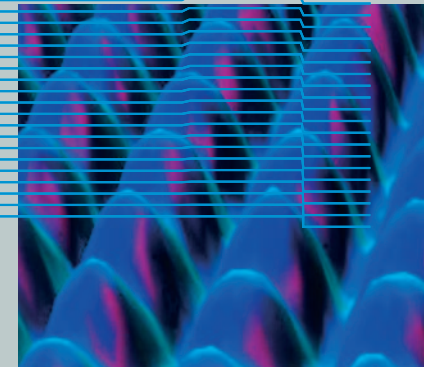
Produktionstechnologien

Hightech-Strategie  
für Deutschland

**Nanotechnologien**



Fraunhofer Gesellschaft



# Nanotechnologien

## Kleiner Maßstab mit großem wirtschaftlichem Potenzial



<b>Im Reich der Zwerge</b>	2
<b>Nanoschichten</b> Veredelte Oberflächen	4
<b>Nanokomposite</b> Eigenschaften maßgeschneidert	5
<b>Carbon-Tubes</b> Kleine Tausendsassas	6
<b>Nanomedizin</b> Punktgenau ins Ziel	7
<b>Nanosilber</b> Schutz vor Bakterien	8
<b>Nanoelektronik</b> Technologien für die nächste Chipgeneration	9
<b>Risikountersuchung</b> Macht Nano krank?	10
<b>Innovationscluster</b> Nano for Production	11
<b>Ansprechpartner</b>	12

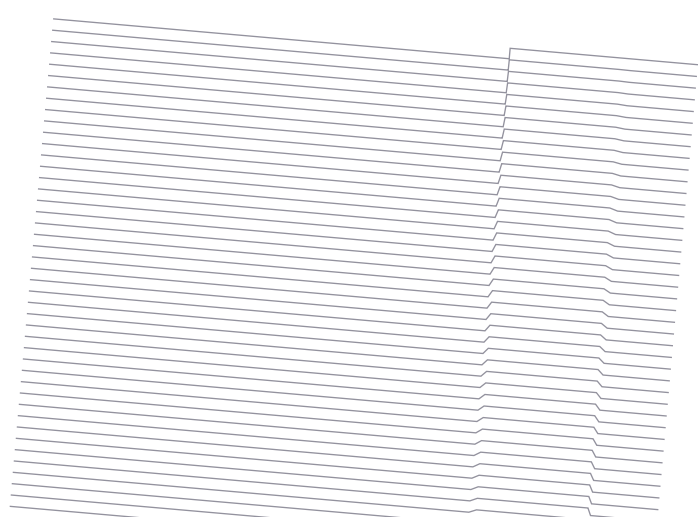
Wenn es eine Technologie gibt, die fast alle Bereiche der aktuellen industriellen Entwicklung beeinflusst oder bald beeinflussen wird, so ist dies sicher neben der Informationstechnologie die Nanotechnologie als typische Querschnittstechnologie.

Das Studium von nanoskaligen Materialien und Systemen und der damit verbundenen Effekte wird allerdings nur dann zur industriellen Wertschöpfung beitragen, wenn es gelingt, die Ergebnisse der Nanowissenschaften von Inventionen zu Innovationen zu führen. Dies ist eine Hauptaufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft in vielen Technologiebereichen und damit auch der Nanotechnologie.

Die Nanotechnologie umfasst klassische Bereiche wie den industriellen Einsatz von Nanofüllstoffen in Lacken, Reifen etc., neuere Entwicklungen der letzten 20 Jahre vor allem im Bereich der Analyse von Nanostrukturen und verfeinerten Methoden, Nanomaterialien herzustellen, bis hin zu visionären Aspekten von molekularen Maschinen, die bislang lediglich in Form von Computergraphiken oder in Ansätzen in Hightech-Forschungslabors existieren.

Diese Broschüre gibt einen Überblick zur Bedeutung der Nanotechnologie und stellt ausgewählte Beispiele aktueller Entwicklungsarbeiten der Fraunhofer-Gesellschaft vor, die alle zumindest mittelfristig in Produkte umgesetzt werden können.

**Dr. Karl-Heinz Haas**  
Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds  
Nanotechnologie



# Im Reich der Zwerge

Nie mehr Fenster putzen, Sonnenbaden ohne Reue, Brille ohne Spiegelung – Nanoteilchen machen es möglich. Doch das ist erst der Anfang. Von der Nanotechnologie können alle Branchen profitieren – vom Autobau bis zur Medizin. Experten sagen der Zukunftstechnologie ein riesiges Marktpotenzial voraus.

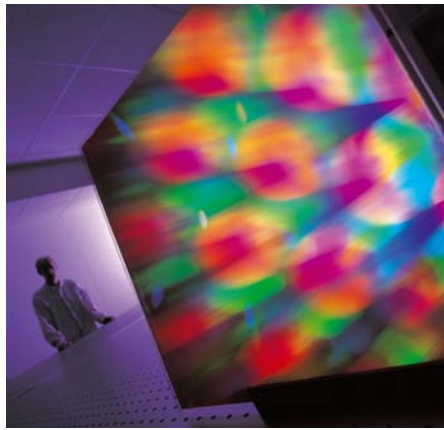
Der Begriff Nano leitet sich von dem griechischen Wort »nanos« (Zwerg) ab. Ein Nanometer ist der milliardste Teil eines Meters. Das ist unvorstellbar klein. Ein menschliches Haar müsste man etwa 50 000-mal spalten, damit es einen Nanometer dünn wäre. Als Vater der Nanotechnologie gilt Richard Feynman, der bereits 1959 in einem Vortrag sagte: »There's plenty of room at the bottom« (Ganz unten ist eine Menge Platz). Eingeläutet wurde die nanowissenschaftliche Revolution 1981 mit dem Bau des ersten Rastertunnelmikroskops. Damit lassen sich nicht nur Atome beobachten, sondern auch mithilfe einer feinen Spitze verschieben. Nanotechnologie ist auf keine Branche oder Technologie beschränkt. Biologen, Chemiker, Physiker, Materialwissenschaftler, Informatiker und Mediziner arbeiten an Anwendungen.



Eine mit Nanostrukturen versehene Holzoberfläche weist Wassertropfen ab.

Doch was ist das Besondere an den Nanotechnologien? In der Nanowelt gelten andere Gesetze als in der Makrowelt. Materialien verändern in Nanogröße ihre Eigenschaften. Die Stoffe haben andere Farben, Schmelzpunkte oder elektrische Leitfähigkeiten. Keramik wird transparent, Gold ist rötlich, Metalle werden zu Halbleitern – um nur einige Beispiele zu nennen.

Erste Nanoprodukte sind bereits auf dem Markt: Nanoschichten machen Kunststoffgläser kratzfest, maßgeschneiderter Ruß sorgt für gute Haftung bei Autoreifen, und neuartige Barrierefüllstoffe verhelfen Tennisbällen zu längerer Haltbarkeit. Der weltweite Umsatz mit Nanotechnologie beträgt nach Schätzung des Vereins Deutscher Ingenieure e. V. (VDI) schon heute mehr als 100 Milliarden Euro und wird in den nächsten fünf Jahren auf über 500 Milliarden Euro steigen. Laut einer Studie des VDI verfügt Deutschland über eine gute Ausgangsbasis und belegt bei den wissenschaftlichen Publikationen den dritten Platz hinter den USA und Japan. Allerdings gibt es Defizite in der kommerziellen Umsetzung, mahnen die Experten. Dieses Manko versucht der Fraunhofer-Verbund Nanotechnologie zu beheben.



Mithilfe der Interferenzlithographie kann eine Oberfläche mit Billionen von mikro- bis nanometerkleinen Strukturen versehen werden.



Damit eine Folie zum Beispiel Lebensmittel vor Sauerstoff schützen kann, muss ihre Oberfläche besonders behandelt werden.

## Nanokomposite Eigenschaften maßgeschneidert

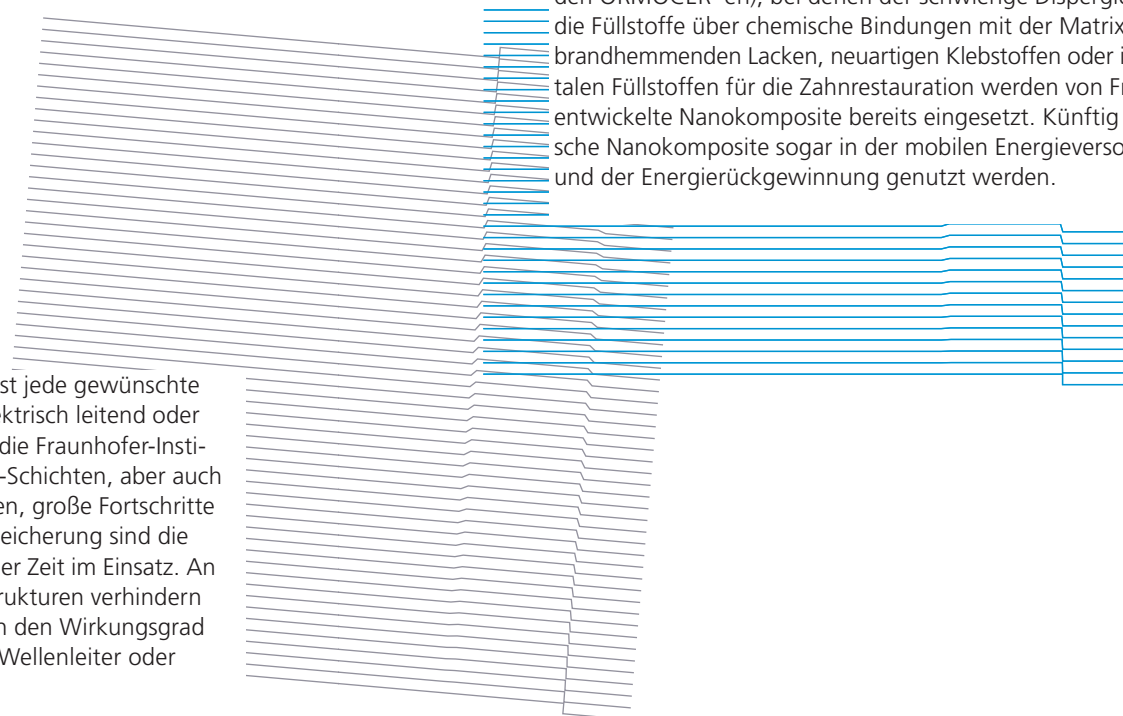
Verbundwerkstoffe kombinieren Eigenschaften unterschiedlichster Materialklassen, um spezifische Anwendungsprofile zu erfüllen. Der Einsatz von Nanopartikeln führt zu Nanokompositen, die häufig in Polymere eingearbeitet werden. Diese funktionalisierten Nanokomposite können dann mit etablierten Fertigungsverfahren wie zum Beispiel dem Spritzguss weiterverarbeitet werden. Polymere Nanokomposite stellen eine neue Materialklasse im Kunststoffsektor dar, die Materialadaption und Materialoptimierung in Zukunft entscheidend beeinflussen werden.

Neben dem Einbau von Nanopartikeln werden für die Herstellung von Nanokompositen auch In-situ-Verfahren eingesetzt (z. B. bei Hybridpolymeren wie den ORMOCER®en), bei denen der schwierige Dispergierprozess entfällt, da die Füllstoffe über chemische Bindungen mit der Matrix verknüpft sind. In brandhemmenden Lacken, neuartigen Klebstoffen oder in lichthärtenden dentalen Füllstoffen für die Zahnrestauration werden von Fraunhofer-Forschern entwickelte Nanokomposite bereits eingesetzt. Künftig sollen thermoelektrische Nanokomposite sogar in der mobilen Energieversorgung, der Kühlung und der Energierückgewinnung genutzt werden.

## Nanoschichten Veredelte Oberflächen

Feinste Schichten veredeln Oberflächen, sodass sie fast jede gewünschte Funktion erfüllen – kratzfest, Schmutz abweisend, elektrisch leitend oder antibakteriell. Bei klassischen Schutzschichten haben die Fraunhofer-Institute mit Diamant- und diamantähnlichen Kohlenstoff-Schichten, aber auch mit nanoskaligen Hybridpolymeren, den ORMOCER®en, große Fortschritte erzielt. In Festplatten und Leseköpfen für die Datenspeicherung sind die wenige Nanometer dünnen Schichten bereits seit langer Zeit im Einsatz. An Bedeutung gewinnen optische Schichten. Winzige Strukturen verhindern störende Spiegelungen auf Bildschirmen oder erhöhen den Wirkungsgrad von Solarzellen. Hybridpolymere dienen als optische Wellenleiter oder mikrooptische Bauteile.

Das Einsatzspektrum der Schichttechniken hat sich in den vergangenen Jahren erheblich erweitert. Der Fraunhofer-Forscher arbeitet an flexiblen Ultrabarrieren und Antimikrobiell wirksamen Polymeroberflächen. Ultrabarrierefolien werden beispielsweise benötigt für flexible Displays aus Flüssigkristallen (LEDs) und organischen Polymeren (OLEDs) sowie für flexible Solarzellen.

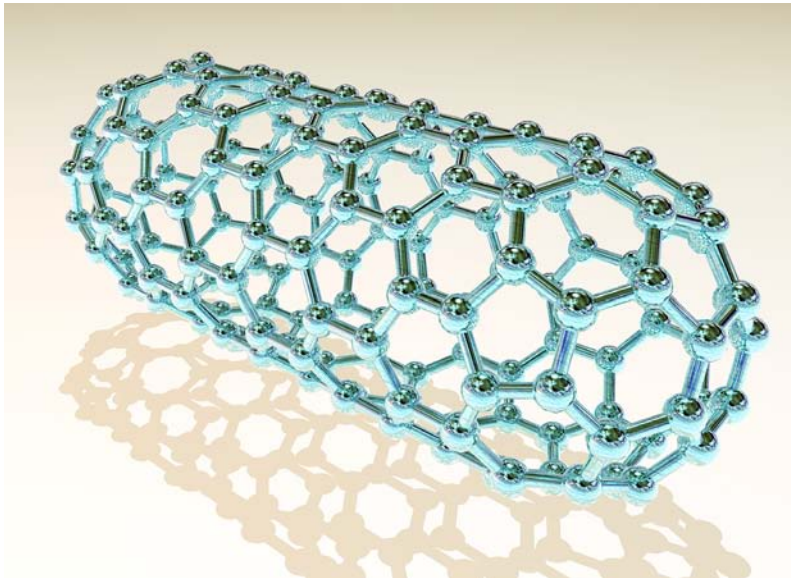


# Carbon-Tubes

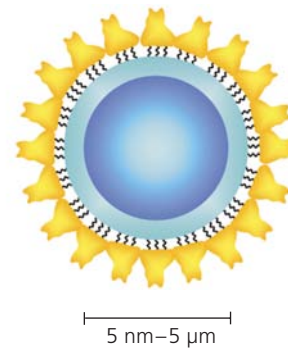
## Kleine Tausendsassas

Extrem leitfähig, stärker als Stahl und leichter als Aluminium – das sind nur einige der erstaunlichen Eigenschaften von Carbon-Nanotubes, kurz CNT genannt. Die winzigen Röhrcen aus Kohlenstoffatomen entdeckte der japanische Forscher Sumio Iijima bereits 1991. Bislang gibt es jedoch kaum entsprechende Produkte, denn der Werkstoff hat einen gravierenden Makel: CNT lassen sich nur schwer mit anderen Werkstoffen verbinden und sind ziemlich teuer.

Ingenieure der Fraunhofer-Gesellschaft haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sich das eigenwillige Material kostengünstig verarbeiten lässt. Die CNT-Halbzeuge werden in Papierform hergestellt. Das CNT-Verbundsystem lässt sich mit unterschiedlichen Materialien vermengen und ebenso einfach mit Kunststoffen wie mit Textilien verbinden. Eines der ersten Produkte sind die DNX-Tennisschläger der Firma Völkl. Und es wird an weiteren Einsatzmöglichkeiten gearbeitet: In dem Projekt »CarNAk – Carbon-Nanotube-Aktuatorik« entwickeln Fraunhofer-Forscher CNT für adaptronische Anwendungen.



Carbon-Nanotubes haben einen Durchmesser von ca. 2 bis 10 nm und können in Längen bis zu einigen 100 µm hergestellt werden.



Nanocytes® – bioaktive Kern-Schale-Partikel – werden individuell aufgebaut.

## Nanomedizin

### Punktgenau ins Ziel

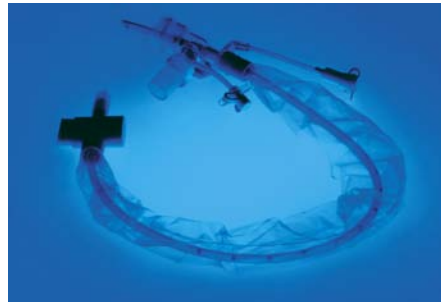
Medikamente, die sich selbstständig ihren Weg durch den Körper bahnen und, am Ziel angekommen, nur kranke Zellen angreifen – das ist von jeher der Traum der Mediziner und Pharmazeuten. Mithilfe der Nanotechnologie könnte diese Vision Realität werden. Gewebe, Zellen, Blutkörperchen – biologische Einheiten liefern zahlreiche Vorbilder für polymere Nanosysteme. Synthetische Polymermaterialien, nach biologischen Bauprinzipien konzipiert, eignen sich hervorragend als Träger für medizinische Wirkstoffe (drug carrier). Durch maßgeschneiderte Oberflächen und Strukturen lassen sich diese Partikel zielgerichtet durch den Körper leiten (drug targeting). Die Teilchen werden im Körper nach einer festgelegten Zeit abgebaut. So geben sie den Wirkstoff nicht nur am richtigen Ort, sondern auch zur vorgeschriebenen Zeit ab (controlled release).

Fraunhofer-Forscher wollen dies künftig auch für die Krebsbehandlung nutzen. Speziell konstruierte Teilchen, die Nanocytes®, docken an die Krebszellen an und lösen den Zelltod aus.





Nanosilber kann in verschiedene Werkstoffe eingearbeitet werden.



Dauerhaft wirksamer Schutz: Mit Nanosilber beschichteter Katheter beugt Infektionen vor.

## Nanosilber Schutz vor Bakterien

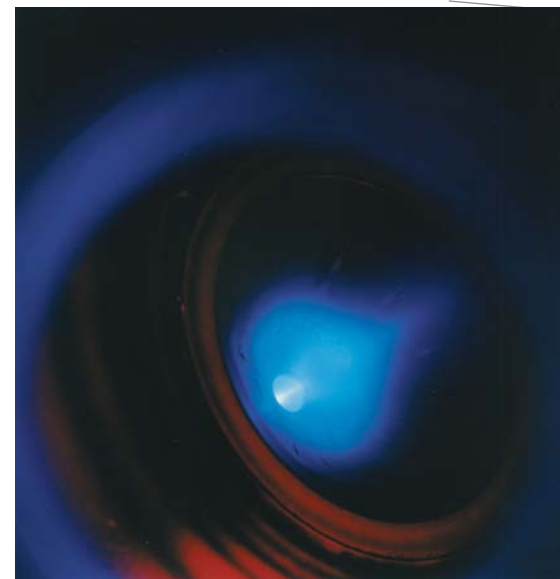
Nach einer Operation ist das Infektionsrisiko hoch. Patienten können sich mit antibiotikaresistenten Bakterien infizieren. Um das zu vermeiden, setzen Fraunhofer-Forscher auf Silber. Sie haben ein bewährtes Hausmittel zur Desinfektion durch Nanotechnologie wirksamer gemacht. Werden Pinzetten, Katheter oder Implantate mit den winzigen Silberpartikeln beschichtet, haben Mikroorganismen kaum eine Chance, zu überleben. Die Fraunhofer-Ausgründung Bio-Gate versieht Materialien und Oberflächen durch nanoskaliges Silber mit einem langfristigen und medizinisch wirksamen Schutz gegen Bakterien, Pilze und andere Krankheitserreger.

Ein anderes Einsatzgebiet von Nanosilber sind Farben. Gemeinsam mit dem Farbenhersteller Bioni CS GmbH haben Fraunhofer-Forscher einen nicht-toxischen Anstrich entwickelt, der den Schimmelpilz- und Algenbefall auf Wand- und Fassadenflächen dauerhaft verhindert.

## Nanoelektronik Technologien für die nächste Chipgeneration

Der Sprung von der Mikro- zur Nanoelektronik ist eine große Herausforderung für die Halbleiterindustrie. Um mehr Transistoren auf einem Chip unterzubringen, müssen die ohnehin schon winzigen Strukturen auf den Siliziumwafern immer kleiner werden. Die klassische optische Lithographie stößt bei etwa 50 Nanometern an ihre Grenzen. Das Verfahren der EUV-Lithographie (EUV – Extremes Ultraviolett) nutzt Strahlung mit einer Wellenlänge von nur 13,5 Nanometern und schafft hier einen Technologiesprung. Fraunhofer-Forscher arbeiten an neuen Lichtquellen und optischen Bauteilen für diese Technologie.

Am Fraunhofer-Center Nanoelektronische Technologien CNT in Dresden entwickeln Wissenschaft und Wirtschaft in Public-Private-Partnership gemeinsam neue Prozesstechnologien für die Nanoelektronik.



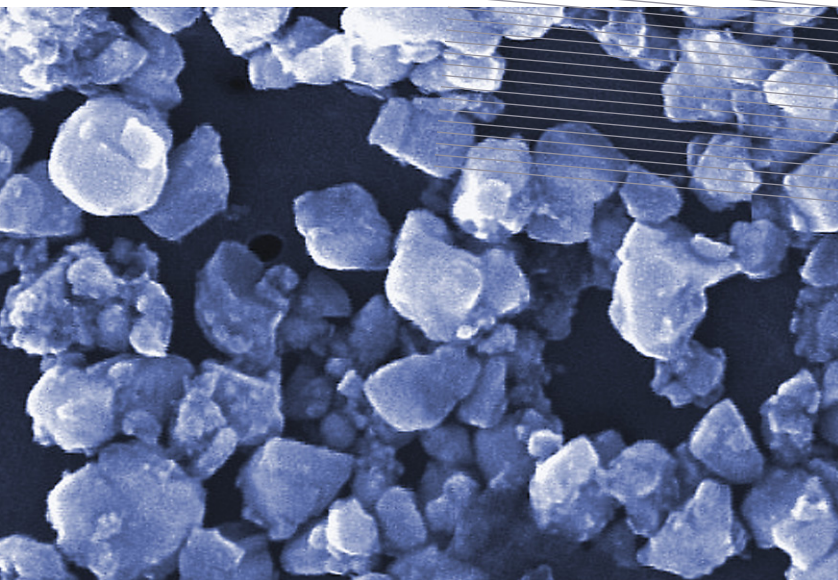
EUV-Licht für die nächste Chipgeneration.

# Risikountersuchung

## Macht Nano krank?

In Nahrungsmitteln, Kosmetika, Farben und Lacken werden Nanoteilchen bereits eingesetzt. Doch was passiert, wenn die Nanopartikel in unseren Körper gelangen? Wie wirken sich die Winzlinge auf die Umwelt aus?

Diese und weitere Fragen untersuchen Fraunhofer-Forscher. So wird zum Beispiel in dem Projekt INOS (Identifizierung und Bewertung von Gesundheits- und Umweltauswirkungen von technischen nanoskaligen Partikeln) geprüft, wie Nanoteilchen in die Haut, die Lunge, den Darm oder ins Nervensystem gelangen. Die Ergebnisse werden in einer Datenbank zugänglich gemacht. Dort kann sich jeder über potenzielle Risiken von Nanopartikeln informieren.



Welche Wirkung Nanopartikel auf Zellen haben, untersuchen Wissenschaftler.

## Innovationscluster

### Nano for Production

Die guten Ergebnisse aus der Nanoforschung sollen schneller und effizienter in Produkte umgesetzt werden – das ist das Ziel des von Fraunhofer initiierten Innovationsclusters »Nano for Production«. Der Cluster wird im November 2006 seine Arbeit aufnehmen.

Der Cluster soll eine direkte Brücke zwischen Grundlagenuntersuchungen, der angewandten Forschung und der Industrie bilden. Der besondere Ansatz ist der Aufbau eines Nanoproduktionstechnikums: Dort werden Herstellungsverfahren für Nanopulver und Nanotubes, für Nanoschichten und für Nanostrukturen weiterentwickelt. An entsprechenden produktionsnahen Anlagen wird die kostengünstige Herstellung demonstriert und qualifiziert.

**Ansprechpartner  
für das Thema Nanotechnologie**

Dr. Karl-Heinz Haas  
Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds  
Nanotechnologie  
Telefon: +49 (0) 9 31 / 41 00-5 00  
Fax: +49 (0) 9 31 / 41 00-5 59  
karlheinz.haas@isc.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC  
Neunerplatz 2  
97082 Würzburg

Dr. Sabine Amberg-Schwab  
Fraunhofer-Verbund Polymere  
Oberflächen POLO  
Telefon: +49 (0) 9 31 / 41 00-6 20  
Fax: +49 (0) 9 31 / 41 00-6 98  
sabine.amberg-schwab@isc.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC  
Neunerplatz 2  
97082 Würzburg

Dr. Ralf Jäckel  
Nanotechnologie-Kompetenzzentrum  
»Ultradünne funktionale Schichten«  
Telefon: +49 (0) 3 51 / 25 83-4 44  
Fax: +49 (0) 3 51 / 25 83-3 00  
ralf.jaeckel@iws.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und  
Strahltechnik IWS  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden

Udo Klotzbach  
Fraunhofer-Verbund  
Oberflächentechnik und Photonik  
Telefon: +49 (0) 3 51 / 25 83-2 52  
Fax: +49 (0) 3 51 / 25 83-3 00  
udo.klotzbach@iws.fraunhofer.de  
Fraunhofer-Verbund  
Oberflächentechnik und Photonik  
Winterbergstraße 28  
01277 Dresden

**Die Fraunhofer-Gesellschaft**

Fraunhofer-Gesellschaft  
Redaktion  
Presse und Öffentlichkeitsarbeit  
Franz Miller  
Telefon: +49 (0) 89 / 12 05-13 01  
Fax: +49 (0) 89 / 12 05-75 15  
Hansastraße 27 c  
80686 München

Allgemeine Anfragen  
Telefon: +49 (0) 89 / 12 05-13 99  
Fax: +49 (0) 89 / 12 05-75 15  
info@fraunhofer.de  
publikationen@fraunhofer.de  
www.fraunhofer.de

**Impressum**

Fraunhofer-Gesellschaft  
Presse und Öffentlichkeitsarbeit  
Gestaltung:  
Büro für Gestaltung  
Wangler & Abele, München

Fotos:  
Cover: IBM  
Seite 02: BASF  
Seite 06: LAGUNA DESIGN/SPL/  
AGENTUR FOCUS

Alle übrigen Abbildungen:  
© Fraunhofer-Gesellschaft