



Dr. Karl-Heinz Haas

Große Zukunft für die Zwergentechnologie

Nanotechnologie eröffnet dem ressourcen- und energiesparenden Wohnungsbau neue Perspektiven

Ob Sonnencreme, Fassadenfarbe oder Putzmittel – überall sind Nanopartikel enthalten. Fast keinen Lebensbereich und kein Zweig der Wirtschaft wird von der Nanotechnik unberührt bleiben. Viele Studien bewerten die Nanotechnologie bereits als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Mit den entsprechend positiven Auswirkungen auf Wirtschaft und Arbeitsmarkt. Rund 322 Millionen Euro wurden 2006 von der Bundesrepublik Deutschland in die Förderung der innovativen Technologie gesteckt. Mit Erfolg, denn Deutschland verfügt laut einer Studie des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) über eine gute Ausgangsbasis und belegt bei den wissenschaftlichen Publikationen den dritten Platz hinter den USA und Japan. Auch die Industrie investiert Millionen für neue Produkte, die das Leben vereinfachen und verschönern sollen. Oft unerkannt, hat die Nanotechnologie längst Einzug ins Bauen gehalten. Ob bei Fassaden, Fenstern, Solarzellen, im Leichtbau oder bei der Energiegewinnung und -nutzung, die innovative Technik bietet viele Vorteile im und am Haus. Über gute Anwendungsmöglichkeiten und falsche Hoffnungen sprach **aktuell** mit Dr. Karl-Heinz Haas vom Fraunhofer-Institut für Silicatforschung in Würzburg.

aktuell: Dr. Haas, wie erklären sie jemandem, der im Unterricht nicht so gut aufgepasst hat, was Nanotechnologie ist?

Das ist nicht ganz einfach, weil sich Nanotechnologie mit unsichtbaren Dingen beschäftigt, mit denen man im Alltag nichts zu tun hat. Nanotechnologie heißt wörtlich übersetzt Zwergentechnologie. Es geht also um sehr kleine Teilchen, manchmal nur ein milliardstel Meter groß. In diesem Bereich stoßen konventionelle Methoden der Messtechnik an ihre Grenzen. In den letzten zwanzig Jahren wurden Methoden und Instrumente entwickelt, spezielle Mikroskope, um so kleine Elemente und Moleküle überhaupt sichtbar zu machen und manipulieren zu können. Man versucht, in diesem Nanobereich Strukturen zu bauen, die anderen Gesetzen gehorchen als in der Makrowelt. Das heißt, die Nanotechnologie nutzt aus, dass Systeme und Materialien in der Nanowelt ihre Eigenschaften ändern. Dieses Verhalten kennt man aus dem Alltag nicht. Im Alltag nimmt man an, dass Farbe, Schmelzpunkt, elektrische Leitfähigkeit oder andere Eigenschaften nicht von der Größe abhängig sind. Ein schönes Beispiel ist das Gold. Gold glänzt und schmilzt immer bei

der gleichen Temperatur, egal ob man ein Gramm oder zehn Kilogramm hat. Diese Eigenschaften ändern sich, wenn das Material in den Nanobereich kommt. Gold ändert die Farbe ins Rote, es glänzt nicht mehr und es schmilzt schon bei ganz tiefen Temperaturen. Dieses Verhalten nutzen wir für neue Produktentwicklungen.

aktuell: Was sind die Arbeitsschwerpunkte an Ihrem Institut?

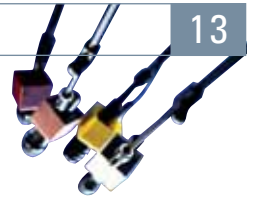
Wir machen generell angewandte Forschung. Das heißt Forschung im Auftrag von Industrieunternehmen oder von öffentlichen Auftraggebern. Bei der Fraunhofer-Gesellschaft wird in zwanzig Instituten im Bereich der Nanotechnologie geforscht. Das ISC ist der Ansprechpartner für die chemische Synthese neuer Werkstoffe, vor allem im Bereich Glas, Keramik und spezieller Hybrid-Polymere. Ein Verfahren dafür ist die Sol-Gel-Technik, bei der winzige Teilchen in Flüssigkeiten gebildet werden, die sich gezielt zusammenlagern lassen. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, Nanomaterialien herzustellen: Man kann etwas Großes immer kleiner machen, etwa große Teile zermahlen. Oder man kann kleine Teile

immer größer machen. Wir nutzen die zweite Methode, den Bottom-up-Ansatz, den auch die Natur zum Aufbau komplexer Strukturen nutzt. Wir gehen also von Molekülen aus, lassen sie kontrolliert miteinander reagieren und bauen diese Nanostrukturen in Lösung auf. Damit können in der praktischen Anwendung unterschiedliche Dinge gemacht werden. So können wir beispielsweise Oberflächen beschichten, Fasern oder auch andere Verbundstoffe herstellen.

aktuell: In der Fraunhofer-Gesellschaft ist, wie Sie gerade selbst erwähnten, von derzeit 58 Instituten fast ein Drittel aller Institute auf dem Gebiet der Nanotechnologie tätig. Demnach sieht die Fraunhofer-Gesellschaft ein großes wirtschaftliches Zukunftspotenzial in dieser Technologie?

Ja, wie so viele andere auch. In den Industrienationen wird massiv in die neue Technologie investiert. Viele der schönen Effekte sind im Moment nur in der Grundlagenforschung oder im Labor zu erreichen. Die Fraunhofer-Institute sind daran nicht so sehr beteiligt, wir machen mehr angewandte Forschung. Wir versuchen das in die industrielle Anwendung zu übersetzen, was die Universitäten und die Max-Planck-Institute in der Grundlagenforschung herausgefunden haben. Es gibt fast keinen Lebensbereich und keinen Zweig der Wirtschaft, die unberührt von den Entwicklungen in der Nanotechnik sind. Ob Optik, Elektronik, Medizin, Energie oder Leichtbau, viele Werkstoffe und Systeme funktionieren nur auf Grund ihrer nanoskaligen Größenordnung.

aktuell: Vor vier Jahren haben Sie eine Untersuchung des Forschungs- und Handlungsbedarfs für die industrielle Nano-Produktion veröffentlicht. Welches sind die heute wichtigsten Anwendungsbereiche?



Das sind Nanomaterialien, zum Beispiel Nanopartikel, die man in Lacke einbaut, Beschichtungssysteme für Korrosionsschutz, für kratzfeste Ausrüstung oder die Entspiegelung von Oberflächen und vieles mehr. Die Oberflächenveredelung gehört zu den wichtigsten Anwendungen. Und zwar deswegen, weil man in dem Bereich mit wenig Material viel erreichen kann. Nanomaterialien sind oft teurer als klassische Materialien. Und wenn ich einen ganzen Tisch mit Nanomaterialien herstellen wollte, wäre der natürlich unglaublich teuer. Wenn es mir aber gelingt, nur eine dünne Folie oder eine dünne Schicht auf die Tischoberfläche zu bringen, die die gewünschten Eigenschaften hat – zum Beispiel Kratzfestigkeit oder antibakterielle Ausrüstung – dann brauche ich wenig Material und dann rechnet sich die Herstellung für viele Anwendungen.

aktuell: Gibt es direkte Bezüge zwischen dem Hightechgebiet Nanotechnologie und dem eher traditionell erscheinenden Bauwesen?

Viele der am Bau verwendeten Materialien sind tatsächlich, wenn man es genau nimmt, nanoskalig aufgebaut. Das heißt, sie enthalten kleinste Strukturen, die dafür sorgen, dass Baumaterialien genau die Eigenschaften haben, die sie brauchen. Ein schönes Beispiel dafür ist die Abbindereaktion bei Beton und Zement. Dort wachsen während der Abbindereaktion sehr kleine Nadeln. Das führt dazu, dass es durch deren Verfilzung zur Festigkeit des Baumaterials kommt. Das ist ein Phänomen, das man unbewusst schon seit Jahrhunderten nutzt, ohne genau zu wissen, warum. Heute weiß man es, weil man heute durch die elektronenmikroskopischen Bilder die Vorgänge sehen kann. Es wird in diesem Bereich sicherlich noch zu Optimierungen kommen, weil man jetzt diese Wachstumsvorgänge besser steuern kann. Man kann also klassische Baustoffe durch die Zugabe von Nanopartikeln verbessern, zum Beispiel festere Betone, festere Baumaterialien entwickeln. Denn jetzt verstehen wir, auf welcher Basis das Ganze abläuft. Mittlerweile sind die neuen Möglichkeiten auch in der öffentlichen Diskussion. Es gibt Fachtagungen, die sich mit Anwendungen am Bau oder in der Architektur beschäftigen. Dort werden klassische Baumaterialien vorgestellt, die mit Nanotechnologie verbessert werden, aber auch neue Materialien, wie zum Beispiel im Bereich Verglasung, Ver-

scheibung oder auch in der Energiespeichertechnik.

aktuell: Stichwort Beton, also zementgebundene Baustoffe: Ist sogenannter „Lichtbeton“ ohne Nanotechnologie gar nicht denkbar?

Die Lichtdurchlässigkeit wird sehr stark erhöht, wenn die Teilchen immer kleiner werden. Wenn sie ganz klein sind, dann sieht man sie gar nicht mehr. Normales Licht wird nicht mehr gestreut, es geht einfach durch. Das bedeutet, die Werkstoffe werden durchsichtig. Diesen Effekt

Wärmeschutzverglasung ist schon Nanotechnologie

nutzt man im Bereich der Optik und Verscheibung. Also die Tatsache, etwas auf die Oberfläche aufbringen zu können, was nicht sichtbar ist, was aber trotzdem die Funktion hat, Licht zu reflektieren oder weniger Wärmestrahlung durchzulassen. Wenn Teilchen oder Poren größer werden, kommt es zur Streuung des Lichts, das Material wird undurchsichtig, opak oder milchig. Wenn sie kleiner werden, können Sie durchgucken. Das ist auch ein Nanoeffekt.

aktuell: Was kann die Nanotechnologie im Bereich Wärmedämmung und Wärmeschutz bei Fassaden bieten?

Auch hier wird Nanotechnologie, wie in vielen anderen Bereichen, schon lange eingesetzt, ohne dass man es weiß. Wärmeschutzverglasungen sind schon lange Nanotechnologie, weil sie ganz dünne Schichten im Bereich von unterhalb 100 Nanometer (nm) nutzen, um zum Beispiel Wärmestrahlung zu reflektieren. Das sind dünne metallische Schichten, die auf Gläser aufgetragen werden und die genau für den beschriebenen Effekt sorgen. Wärmeschutzverglasung ist schon Nanotechnologie.

aktuell: Und wie sieht es mit den Fensterflächen aus?

Bei den Fensterflächen gibt es in der Zwischenzeit neuere Entwicklungen, die mit der direkten Verscheibung zu tun haben, um die Wärmestrahlung zu regulieren. Indem man zum Beispiel eine aktive Verscheibung macht, eine sogenannte elektrochrome Glasscheibe, deren Durchlässigkeit über eine elektrische Spannung

gesteuert wird. Ich kann dann wählen, ob die Wärme hereinkommen soll oder nicht. Das kann ich bei der normalen Wärmeschutzverglasung natürlich nicht. Bei ihr muss vorher entschieden werden, ob die Beschichtung in heißen Zonen eingesetzt wird, ob also der Klimatisierungsaufwand reduziert werden soll, oder ob das Gegenteil der Fall ist, also der Heizungsaufwand verringert werden soll. Danach muss die Beschichtung ausgewählt werden. Mit der elektrochromen Verglasung kann ich beides machen, denn deren Beschichtung lässt sich ein- und ausschalten. Bei diesen schaltbaren Verglasungen spielt Nanotechnologie eine Rolle. Eine andere interessante Anwendung der Nanotechnologie im Bereich der Verscheibung ist das Sauberhalten von Oberflächen. Das heißt, das Fenster wird mit einer dünnen Schicht eines Halbleiters, zumeist Titandioxyd, ausgerüstet. Wenn die Schicht dünn genug ist, stört sie optisch nicht und hat dazu die Eigenschaft, dass sie in Gegenwart von Licht an der Oberfläche Schmutz abbauen kann. Das nennt man Photokatalyse. Diese Fensterscheiben bleiben länger sauber, weil der Regen und das Licht zur Reinigung



Die von Fraunhofer ISC entwickelte Antireflex-Nano-Funktionsschicht für Solarabdeckungen erhöht die Energieausbeute von Solarkollektoren und Photovoltaik-Anlagen. Sie wird im kostengünstigen Tauchverfahren hergestellt, ist witterungsbeständig und reinigt sich durch Regen quasi von selbst.

Bild: Martin Lober für Fraunhofer, ISC

ausreichen. Diese Technik wird in der Zwischenzeit von mehreren Firmen angeboten. Ähnlich funktioniert es auch bei Dachziegeln oder Fassadenfarben. Natürlich sind diese Beschichtungen teurer als normale Materialien, aber Sie können sich Reinigungsaufwand ersparen.

aktuell: Apropos teuer: Gerade die Reinigung von Fenstern, Fassaden und Dächern von Schmutz und Graffiti ist bei Langzeitbetrachtung ein großer Kostenfaktor. Halten selbstreinigende Oberflächen, was sie versprechen?

Das kann man noch nicht genau sagen. Und zwar deswegen, weil es erstens keine selbstreinigenden Oberflächen gibt. Eine Oberfläche reinigt sich nie selbst, man muss immer noch irgendwie reinigen. Nur die Reinigung kann sehr vereinfacht werden. Wenn man zum Beispiel eine photokatalytisch aktive Oberfläche hat, muss Sonne darauf scheinen. Wenn keine Sonne scheint und kein Wasser darüber geht, reinigt sie sich auch nicht „von selbst“.

Nanotechnologie

beschäftigt sich mit der Erzeugung, Erforschung und Nutzung extrem kleiner Strukturen. Die Vorsilbe „Nano“ leitet sich aus dem Griechischen ab und bedeutet so viel wie „Zwerg“. Damit ein menschliches Haar einen Nanometer (nm = milliardstel Meter) dünn wird, müsste es etwa 50.000-mal gespalten werden. Damit ist man im Größenbereich der Atome und Moleküle. Nanoskalige Partikel (Nanopartikel) oder Polymere (kleiner 100 nm) sind die Bausteine dieser Technologie. Durch den gezielten Aufbau von Materialien auf atomarer Ebene sowie die Nutzung besonderer Eigenschaften, die in diesem Kleinstmaßstab auftreten, wird eine Fülle tiefgreifender Auswirkungen und Innovationen erwartet, so z.B. in der Informations- und Kommunikationstechnologie, Energie-, Produktions- und Umwelttechnik, in der Werkstofftechnik und der Elektronik, sowie in der Chemie, Medizin, Biotechnologie, Pharmazie und Kosmetik. Neben den positiven Erwartungen werden auch kritische Stimmen laut, die unter anderem vor den noch unkalulierbaren Wirkungen kleinster Partikel auf Umwelt und Gesundheit warnen.

Wenn diese Scheibe mit Regen oder Sonne in Berührung kommt, kann der gegebenenfalls noch vorhandene Schmutz ganz leicht entfernt werden. Aber das sich komplett alles selbst reinigt, das wird es

Es gibt noch keine DIN-Norm oder Zertifizierung für Nanotechnologie

wohl nie geben. Das Zweite ist: Viele von den Schichten sind erst seit ein paar Jahren auf dem Markt. Niemand kann sagen, ob die nach zwanzig Jahren auch noch so leicht zu reinigen sind. Es fehlt einfach die Langzeiterfahrung. Aber dass die Reinigung durch solche Schichten vereinfacht wird, das kann man nachweisen. Wie lange es hält, muss man sehen.

aktuell: Wie sieht es mit den Kosten aus? Können nanotechnologische Produkte heute wirtschaftlich eingesetzt werden?

Sie können wirtschaftlich eingesetzt werden, wenn sie die Funktion haben, die man benötigt. Das heißt, wenn wir irgendeine Anwendung haben, die man auch ohne Nanotechnologie in derselben Qualität machen kann, dann wird es auch immer ohne die Nanotechnologie gehen, weil es einfach preisgünstiger ist.

aktuell: Ist die Weiterentwicklung von sogenannten Verbundstoffen eine Art Zauberwort in der Nanotechnologie?

Nicht unbedingt. Aber man verspricht sich bei den Verbundwerkstoffen viel – egal ob Kunststoffe oder andere – in Bezug auf den Materialeinsatz. Mit Nanomaterialien kann man oft mit wenig viel erreichen. Wenn ich bei einem Verbundwerkstoff beispielsweise 20 Prozent Glasfasern oder Ruß zufügen muss, dann kann ich mit Nanotechnologie in einigen Fällen die Zugabe auf ein bis zwei Prozent reduzieren. Eigenschaften von Verbundwerkstoffen sind immer relativ komplex. Ein Verbundwerkstoff, der im Leichtbau bei Automobilen als Stoßfänger oder in der Luftfahrt eingesetzt werden soll, muss sehr viele Eigenschaften miteinander kombinieren. Wenn bestimmte Eigenschaften erreichbar sind, indem ich nur wenig davon zugebe, dann habe ich einen größeren Spielraum, andere Eigenschaften

konstant zu halten, die ich brauche. Nehmen wir noch mal das Beispiel Glasfasern. Sie werden zur Verstärkung eingesetzt, aber sie haben auch Nachteile. Das Material wird schwerer und spröder. Wenn ich dank Nano mit weniger Materialeinsatz auskomme, dann kann ich andere Eigenschaften erreichen und vielleicht sogar auch leichter werden, weil ich einfach weniger brauche. Und für alle mobilen Anwendungen ist so was natürlich wichtig. Für jedes Flugzeug, das fliegt, oder für jedes Auto, das fährt.

aktuell: Das ist auch im Baubereich ein großes Thema, um Gewicht, Material und Transportkosten zu sparen.

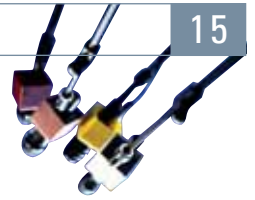
Mit Nano kann man in einigen Fällen mit weniger das Gleiche erreichen und damit Material und auch Gewicht einsparen. Der Leichtbau hat gegenüber dem Massivbau in bestimmten Anwendungsbereichen Vorteile und bringt Kostenersparnis.

aktuell: Marktgängig sind schon pflegeleichte Easy-to-clean-Produkte für Sanitärkeramiken, die in flüssiger Form vom Endverbraucher selbst aufgesprüht werden können. Ist auch überall Nano drin, wo Nano drauf steht?

Der Begriff Nano ist leider auch zum Modewort geworden. Teilweise werden bewährte Produkte mit dem Zusatz Nano versehen, ohne damit etwas zu tun zu haben. Damit wird versucht, sie in einem höheren Preissegment anzubieten. Natürlich gibt es schon Produkte mit Nanopartikeln oder mit Nanobeschichtungen. Da ich die aber nicht sehen kann, muss ich überlegen, wer bietet so was an, kann ich dem Anbieter vertrauen. Leider gibt es keine DIN-Norm, keine Zertifizierung, die Qualitäten der Nanotechnologie festlegt.

aktuell: Wann wird es den maßgeschneiderten Werkstoff im Bauwesen geben, also den Wunschbaustoff mit multifunktionaler Oberfläche?

Wenn ich zwei oder drei Eigenschaften mittels Nanotechnologie auf einen Werkstoff vereinen will, dann gibt es den Wunschbaustoff bereits. Wenn man allerdings sehr viele verschiedene Eigenschaften in ein Produkt bringen will, dann ist das nicht möglich. Vor allem dann nicht, wenn sich diese Eigenschaften womöglich noch widersprechen.



aktuell: Gerade bei der Wärmedämmung denkmalgeschützter Wohnhäuser gibt es Probleme. Kann Nanotechnologie dieses Dilemma beheben?

Bei der Wärmedämmung reicht es nicht aus, ganz dünne, womöglich unsichtbare Schichten aufzubringen. Eine Dämmung an der Fassade setzt auch eine bestimmte Materialstärke voraus, egal, ob Innen- oder Außenwände gedämmt werden sollen. Wenn also weder die Zimmergröße leiden soll noch die Optik an der Außenfassade, dann hilft auch Nanotechnologie nicht weiter.

aktuell: Beim Thema Energieeinsparung und -nutzung beschäftigen die Wohnungswirtschaft auch Neuerungen bei Solarzellen und Photovoltaik. Sind die Solarzellen der Zukunft aus preisgünstigem Farbstoff anstatt aus teurem Silicium?

Bei Solarzellen mit Farbstoffen wird Licht ohne die Verwendung von Silicium zu Strom umgewandelt. Der Vorteil dieses auf Nanotechnologie basierenden Verfahrens ist die kostengünstige Herstellung. Noch ist die Frage der Langzeitstabilität dieser neuen Solarzellen nicht gelöst. Es fehlen ganz einfach die Erfahrungen, denn diese neue Generation von Solarzellen ist erst wenige Jahre auf dem Markt. Ob sie wirklich preisgünstiger sind, wird sich erst zeigen.

aktuell: Ein wichtiges Thema ist die Technologiefolgenabschätzung. Skeptiker weisen vor allem auf mögliche negative Auswirkungen unkontrolliert freigesetzter Nanopartikel auf den menschlichen Organismus hin. Wie sehen Sie die Auswirkungen im Hinblick auf Gesundheit, Ökologie und Ethik?

Die Empfehlung, kleinste Teilchen nicht einzuatmen, gilt schon seit mehreren Jahrzehnten. Das gilt für Imprägniersprays oder für die genannten Easy-to-clean-Produkte, die auf Glasflächen oder auf Sanitärkeramik aufgesprüht werden können, natürlich ebenfalls. In der Regel haben Nanopartikel eine starke Neigung zur Zusammenlagerung. Diese sogenannten Agglomerate sind zu größeren Einheiten gebunden und lösen sich nicht einfach wieder von alleine. In der Medizin, einem der interessantesten Anwendungsbereiche von Nanotechnologie, kann durch das gezielte Einschleusen von



Dr. Karl-Heinz Haas (Jahrgang 1955) ist stellvertretender Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Silicatforschung (ISC) in Würzburg und Sprecher des Themenverbundes Nanotechnologie der Fraunhofer-Gesellschaft. Nach Chemiestudium an der Universität Karlsruhe und Promotion am Institut für Physikalische Chemie III im Bereich Elektrochemie in Salzsäure, begann Haas 1984 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am ISC und beschäftigte sich mit Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Hybridpolymere. 1988 wechselte er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter ins zentrale Kunststofflaboratorium der BASF AG in Ludwigshafen sowie in Tsukuba (Japan) mit den Arbeitsschwerpunkten Nanokomposite und Polymere für nichtlineare Optik dritter Ordnung. Von 1995 bis 2002 war Haas Abteilungsleiter ORMOCER (nanoskalige anorganische-organische Hybridmaterialien) am ISC mit den Arbeitsgebieten Funktionale Schichten, Kompaktmaterialien, Fasern, Partikel, Materialien für die Mikrosystemtechnik.

Stoffen an bestimmte Stellen im Körper viel Positives erreicht werden. Negative Befürchtungen oder gar Science-Fiction-Szenarien vom künstlichen Menschen muten mir, von meiner wissenschaftlichen Arbeit her betrachtet, zu futuristisch an.

aktuell: Eine persönliche Frage zum Schluss: Nanotechnologie ist ein hochgradig visionäres Thema ...

Nur teilweise.

aktuell: ... Wie ist Ihre Idealvorstellung von Ihrem Alltagsleben dank Nanotechnologie?

Ich würde die Frage nicht an Nanotechnologie festmachen, sondern anhand verbesserter Funktionen. Materialien sollen nicht mehr korrodieren, die Oberfläche soll kratzfester sein oder Keime abtöten. Das ist etwas, was ich mir selber als Konsument wünsche. Ob das mit Nano oder mit einer anderen Technik funktioniert,

ist mir als Verbraucher eigentlich egal. Ich glaube nicht, dass für die Dinge, die ich mir privat wünsche, Nanotechnologie besondere Beiträge leistet. Das hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass wir hier am Institut mit der klassischen Nanotechnologie zu tun haben, die seit Langem in Form von Schichten angewendet wird. Wir entwickeln neue Oberflächen, beispielsweise damit eine Brille nicht mehr verkratzt oder dass sie einfacher gereinigt werden kann. Dafür wird Nanotechnologie eingesetzt. Wenn ich mehr mit visionären Dingen zu tun hätte, wo man einzelne Atome hin und her schiebt oder Erbmo-
leküle an der einen Seite auseinander-schneidet und an der anderen Seite wieder zusammensetzt, dann hätte ich vielleicht mehr Erwartungen an die Hilfe der Nanotechnologie. So, wie wir mit dieser Technik zu tun haben, zeigt sie sich eigentlich sehr handfest.

Das Gespräch führte Dagmar Lange

Weiterführende Links:

www.nano.fraunhofer.de (Internetseite des Fraunhofer-Verbund Nanotechnologie)

www.isc.fhg.de (Internetseite des Fraunhofer-Instituts für Silicatforschung)

<http://dip.bundestag.de/btd/15/027/1502713.pdf>

(Erste umfassende Übersichtsstudie mit wesentlichen Hintergrundinformationen vom Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung zum Thema Nanotechnologie, März 2004)

www.nanoproducts.de

(umfassende Produktdatenbank für Nanotechnologie mit Konsumprodukten, Rohstoffherstellern und Forschungsfirmen)