

Sylvia Leydecker

Nanomaterialien

in Architektur, Innenarchitektur und Design

Mit Vorworten von Harold Kroto und Michael Veith
und Beiträgen von Marius Kölbl und Sascha Peters

„The Medium is the Message“ – in diesem Sinne wurde das beigelegte Muster freundlicherweise von Evonik zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um eine neuartige flexible Keramik, die als strapazierfähiger, pflegeleichter Wandbelag klassischen Tapeten und Wandfliesen Konkurrenz machen könnte. Aufgrund ihrer keramischen Natur ist sie kratz- und schlagfest, wasserabweisend, chemikalienbeständig, brandwidrig und UV-stabil und kann dennoch als Rollenware einfach gehandhabt werden.

Grafische Gestaltung und Umschlaggestaltung: Miriam Bussmann, Berlin

Übersetzung des Vorworts von Harold Kroto: Thomas Menzel, Lörrach

Dieses Buch ist auch in englischer Sprache erschienen:
ISBN 978-3-7643-7995-7

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

© 2008 Birkhäuser Verlag AG
Basel · Boston · Berlin
Postfach 133, CH-4010 Basel, Schweiz
Ein Unternehmen der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media

In diesem Buch werden etwa bestehende Patente, Gebrauchsmuster, Warenzeichen u.ä. in aller Regel nicht erwähnt. Wenn ein solcher Hinweis fehlt, heißt das nicht, dass eine Ware oder eine Warenname frei ist. Aufgrund der Vielzahl der unterschiedlichen genannten Materialien und Produkte war eine jeweilige Prüfung hinsichtlich eines eventuell vorhandenen Markenschutzes nicht möglich. Im Zuge einer einheitlichen Handhabung wurde deshalb auf die Setzung von Warenzeichen (z. B. ®, ™) in aller Regel verzichtet.

Gedruckt auf säurefreiem Papier, hergestellt aus chlorfrei gebleichtem Zellstoff. TCF ∞

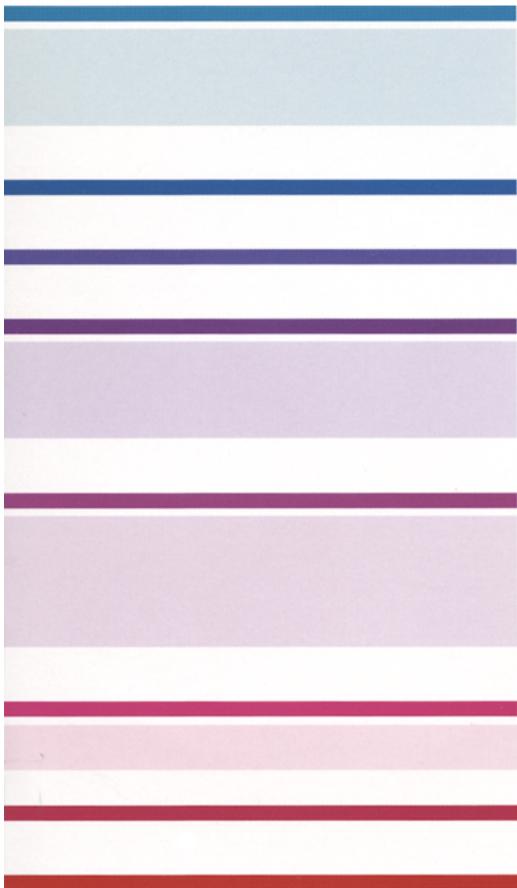
Printed in Germany

ISBN 978-3-7643-7994-0

9 8 7 6 5 4 3 2 1

www.birkhauser.ch

9	Vorwort von Harold Kroto
10	Vorwort von Michael Veith
12	Was ist Nanotechnologie?
20	Entwicklung der Nanotechnologie
26	Kohlenstoff – neue Morphologien
32	Allgemeine Marktentwicklung
34	Nanoprodukte
40	Form Follows Function?
42	Ökologie und Ökonomie
44	Steckt der Teufel im Teilchen?
50	Nanotechnologie und Produktdesign
56	Funktionen und Anwendungen
58	Selbstreinigend: Lotus-Effect®
64	Museum der Ara Pacis, Rom
66	Geschäftsgebäude, Pula
68	Wohnhaus, Aggstell
70	Wohnhaus Strucksberg, Hamburg
72	Selbstreinigend: Photokatalyse
78	Muhammad Ali Center, Louisville, Kentucky
80	Hyatt Regency Garden Chapel, Osaka
81	Narita International Airport of Tokyo, Chiba
82	AKT – Am Kaiser's Turm, Heilbronn
83	east Hotel, Hamburg
84	G-Flat, Tokio
86	Wohnhaus Kurakuen, Hyogo
87	Wohnhaus Senri New Town, Osaka
88	House in Creek, Hiroshima
89	Behindertengerechte Alterswohnungen, Frick
90	MSV Arena, Duisburg
91	Kinderspielplatz, Kagawa
92	Easy-to-clean
98	Science to Business Center Nanotronics & Bio, Marl
100	Kaldewei Kompetenz-Center, Ahlen
102	Einfamilienhaus, Erlenbach
104	Modern Classicism, Shanghai
106	Stadtlounge/Lichtbubbles, St. Gallen



108 Luftreinigend

- 114 Atelier und Villa eines Kalligrafen, Ymanashi
- 116 Fußweg am Leien Boulevard, Antwerpen
- 117 Jubilee Church, Rom

118 Anti-Fog

120 Duftkapseln

122 Wärmedämmend: Vakuum-Isolations-Paneele

- 125 Dienstleistungszentrum Sonnenschiff, Freiburg
- 126 Wohn- und Geschäftshaus Seitzstraße, München

128 Wärmedämmend: Aerogel

- 132 County Zoo, Milwaukee, Wisconsin
- 133 Schulerweiterung, London
- 134 Sportanlage, Carquefou
- 135 Fabrikgebäude, Zaisertshofen

136 Temperaturregulierend: PCM

- 141 Alterswohnen „Sur Falveng“, Domat/Ems

142 UV-Schutz

144 Abdunkelnd



146 Feuerbeständig

148 Zentrale Deutsche Post, Bonn

150 Waverley Gate, Edinburgh

152 Anti-Graffiti

156 Neue Mitte Ulm

158 Hofjäger Palais, Berlin

160 Antireflex

162 Antibakteriell

166 Wohnsiedlung, Duisburg

168 OP-Saal, Goslar

169 OP-Saal, Berlin

170 Prototyp eines Patientenzimmers, Berlin

172 Anti-Fingerprint

176 Kratz- und abriebfest

**178 Ganzheitlicher Einsatz von Nano-Oberflächen
in der Innenarchitektur**

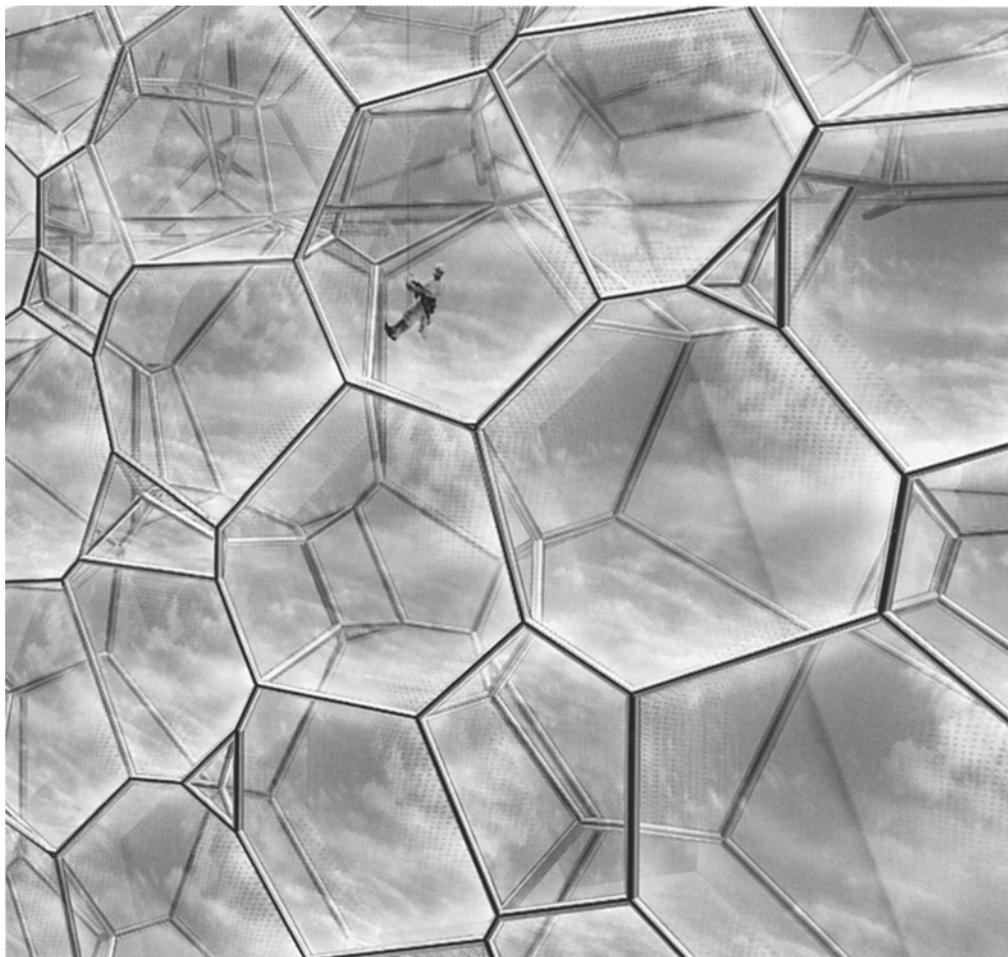
180 Dank

181 Personen

184 Messen, Tagungen/Konferenzen und Events

186 Quellen, Informationen, Bildnachweis

Das Hexagon ist in der Natur häufig anzutreffen: vom Schildkrötenpanzer bis hin zu Schaumstrukturen und Buckyballs. In Design und Architektur spielt diese Formensprache aktuell wieder verstärkt eine Rolle. Das Schwimmstadion für die Olympiade in Beijing 2008 spielt mit den Dimensionen.



Vorwort

von Harold Kroto

Mit dem beginnenden 21. Jahrhundert sind mehr und mehr chemische Verfahren durchführbar geworden, die mittels des Bottom-up-Ansatzes Materialien mit genau spezifizierten atomaren und molekularen Infrastrukturen herstellen. Dagegen ist der Top-down-Ansatz, der so gute Dienste geleistet hat, offensichtlich an fundamentale Grenzen gestoßen. Es galt und gilt das Versprechen dieser Materialien auf bessere Verhaltensweisen einzulösen, zu denen eine stark verbesserte Zugbeanspruchung sowie bestimmte elektronische und magnetische Eigenschaften gehören. Die neuen Forschungsansätze in der Materialwissenschaft haben sich mehr und mehr zu dieser originär chemischen Perspektive hin verschoben und das Gebiet erhielt einen neuen Namen: Nanoscience und Nanotechnologie (N&N). Dabei ist es natürlich keineswegs ein vollkommen neues Gebiet, da die Biologie alle lebenden Systeme nach der Blaupause der DNS Atom für Atom und Molekül für Molekül konstruiert hat. Im Zuge dieser neuen Entwicklungen wurde vollkommen unerwartet eine Familie von Käfigmolekülen aus Kohlenstoff mit faszinierenden Eigenschaften entdeckt, die Fullerene und ihre lang gestreckten Verwandten, die Nanoröhren (Buckytubes). Mit den Eigenschaften, über die diese Moleküle verfügen, sollten einige Verheißungen der Materialwissenschaft und -technik des 21. Jahrhunderts Wirklichkeit werden können. Diese Ikonen der N&N sind heute Gegenstand intensiver Forschung, weil

sie versprechen, auf nahezu jedem möglichen Feld zukünftiger Technik, von der Medizin und der Mikroelektronik bis hin zum Bauingenieurwesen, eine zentrale Rolle zu spielen. Neben den auf Kohlenstoff basierenden Strukturen wird auch das Verhalten zahlreicher anderer Materialien mit molekularen oder erweiterten atomaren Anordnungen im Nanomaßstab erforscht – mit ähnlich aufregenden Erfolgsaussichten. Raffinierte Strategien für die Schöpfung von Molekülen mit komplexen, genau spezifizierten Strukturen und Funktionen sind entwickelt worden, im Wesentlichen von Molekülen, die „etwas tun“. Tatsächlich kann das interdisziplinäre Feld der N&N als die avancierteste Wissenschaft des 21. Jahrhunderts angesehen werden. Sie ist aus dem besseren Verständnis und der gekonnten Anwendung der chemischen Prinzipien hervorgegangen, die der Festkörperphysik, der Molekularbiologie und der Werkstofftechnik unterliegen. Verbesserungen im Verhalten von Materialien sind bereits erreicht worden, und wenn wir die Probleme der Feinkontrolle über die chemische Selbstorganisation nach dem Bottom-up-Prinzip lösen können, dann werden wir einen umfassenden Paradigmenwechsel in den Materialwissenschaften erleben, mit Anwendungen, die von der Mikroelektronik bis hin zum Bauingenieurwesen reichen. Solche Fortschritte tragen entscheidend zur Entwicklung jener nachhaltigen Technologien bei, die für das Überleben der Gattung Mensch notwendig sind.

von Michael Veith

Für einen „Nano-Physiker“, der an Quantendots forscht, ist die Arbeit eines „Nano-Chemikers“, der eine kratz-feste Oberfläche entwickelt, meist fremd. Die unterschiedlichen Sichtweisen und Arbeitsbereiche der beteiligten Disziplinen machen es unmöglich, pauschalisierte Aussagen zum heutigen Realisierungsgrad der Nanotechnologien zu treffen. In den Köpfen von Wissenschaftlern – und auch in den Köpfen von Journalisten – gibt es faszinierende Ideen für den Einsatz der neuen Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Die mechanischen und elektrischen Eigenschaften dieser Kohlenstoffstrukturen können theoretisch bestens vorhergesagt werden, jedoch sind geeignete Prüfmethode für die Bestimmung der Materialparameter in der Praxis bestenfalls im Ansatz vorhanden. Und auch wenn solche „Carbon-Nanotubes“ schon industriell hergestellt werden, ist die Fertigung eines stabilen Seils, das in den Augen der Visionäre aufgrund seiner hohen mechanischen Stabilität den Bau eines Aufzugs ins All ermöglichen soll, derzeit weit von unseren technischen Möglichkeiten entfernt.

Hier und auf vielen Gebieten stecken die Nanowissenschaften noch in den Kinderschuhen. In anderen Bereichen hingegen, etwa in der Pharmazie und in der Kosmetik, ist der Einsatz von nanotechnologischen Inhalts- und Füllstoffen kaum mehr wegzudenken. Wir haben uns schon an Sonnenschutzcremes gewöhnt, die bei Lichtschutzfaktoren von 20 oder 30 transparent auf der Haut wirken. Dies ist nur möglich mit Titandioxid-Partikeln, die so klein sind, dass sie das auftreffende Licht

nicht streuen, aber dennoch ihre UV-absorbierende Wirkung entfalten. Im Augenblick erscheinen sie als gesundheitlich unbedenklich. Liposome als Container für kosmetische Inhaltsstoffe werden bereits seit mehreren Jahren von den Marketingexperten beworben. Auch das ist Nanotechnologie. Doch die Wissenschaftler haben mehr im Sinn als Antifaltencremes. Sie wollen auf diesem Weg pharmazeutische Wirkstoffe ein-kapseln und die Moleküle an der Oberfläche der Liposome so behandeln, dass sie das Medikament zielgerichtet nur an bestimmte, kranke Zellen im Körper abgeben.

Die größte wirtschaftliche Relevanz im Nano-Kontext kommt allerdings den so genannten Neuen Materialien zu. Diese Materialien sind nicht nur in ihrer Dimensionierung neu, sondern verleihen beispielsweise Oberflächen völlig neue Eigenschaften, die sich summarisch ergeben. Dabei geht das Anwendungsgebiet von einstellbaren Hafteigenschaften, tribologischen Besonderheiten wie hoher Gleitfähigkeit, ein- und ausschaltbarem Magnetismus, schaltbarer Lichtabsorption, leitfähigen transparenten Schichten, Lichtdiffusoren usw. bis hin zu Dämmmaterialien im Baugewerbe, die gegenüber herkömmlichen eine ebenso gute Dämmung bei etwa zehnmal geringerer Dicke aufweisen.

Die Vielzahl von nanotechnologischen Produkten in diesem Bereich unterstreicht die wirtschaftliche Relevanz der Neuen Materialien. Forschungsinstitute wie das Leibniz-Institut für Neue Materialien INM haben sich generell dieser Technik zugewandt. Man darf dabei

nicht vergessen, dass Nanotechnologie eine „enabling technology“ ist. Sie leistet vornehmlich die Verbesserung vorhandener Produkte, nicht die Schaffung völlig neuer Produkte. Wenn ein herkömmlicher Korrosionsschutzlack auf Chrom-VI-Basis durch eine ungiftige Nanobeschichtung ersetzt wird, die zudem wesentlich dünner und damit ressourcenschonender ist, bringt das wirtschaftliche Vorteile und leistet einen entscheidenden Beitrag zur Nachhaltigkeit. Ebenso ist die Energieeinsparung ein großes Thema.

Es wird kaum ein Produkt geben, dessen Eigenschaften sich nicht sinnvoll mit Nanotechnologie verbessern lassen – Veredelung in Design und Haptik eingeschlossen. Diese Aussage scheint von zentraler Bedeutung zu sein, hat das Rennen der Wettbewerber um die besten Positionen doch schon begonnen. Zwar wächst die Zahl der interessierten Unternehmen, doch ist die Vorstellung, dass die Nanotechnologie sich nur in den Laboren der Universitäten abspielt und für das eigene Unternehmen keinen Wettbewerbsvorteil haben könne, noch weit verbreitet. Jeder Versuch, Nanotechnologie zu erklären und aufzuzeigen, ist daher zu begrüßen.

Die Idee dieses Buches, Anwendungen einer bestimmten Branche herauszustellen und Neue Materialien aus Sicht der Architekten, Innenarchitekten und Designer zu betrachten, ist der richtige Weg, Menschen zu begeistern, sich mit einer neuen Technologie – auch kritisch – auseinanderzusetzen, die ansonsten kaum den Zugang zu einem wissenschaftlichen Fachbuch über Nanowissenschaften und -technologien finden würden.

Dabei sind die hier aufgezeigten Beispiele nur ein Anfang. Im Musée d'Art Moderne in Paris gibt es 2x3m große metallische Platten als Kunstwerke, die je nach Blickwinkel unterschiedliche Farben zeigen (Farben dünner Schichten). Wann werden wir solche nanotechnologischen Schichten an Fassaden von Häusern bewundern können?

Was ist Nanotechnologie?

WINZIG Ab 100 nm abwärts.

Nanotechnologie als Begriff und Thema ist derzeit in aller Munde und wird reichlich strapaziert. Trotzdem wissen die wenigsten, auch die wenigsten Gestalter, was es eigentlich ist und was man damit anfangen kann. Mit Sicherheit aber handelt es sich in der Sache um mehr als eine vorübergehende Mode. Im Gegenteil – die Nanotechnologie steckt noch in ihren Kinderschuhen und erwartet eine äußerst vielversprechende Zukunft, die die Welt verändern wird.

„Nano“ kommt aus dem Griechischen (nanos, lat. nanus) und bedeutet „Zwerg“ – so fangen viele Berichte über Nanotechnologie an, so soll es auch hier sein. Ein Nanometer (nm) entspricht einem Millionstel Millimeter ($1/1000000\text{mm} = 10^{-6}\text{mm}$) bzw. einem Milliardstel Meter ($1/1000000000\text{m} = 10^{-9}\text{m}$), oder auch einem 80000stel (die Angaben variieren zwischen 50000stel und 100000stel) eines Haardurchmessers, und ist etwa fünf bis zehn Atome groß. Eine Milliarde Nanometer ergeben einen Meter – es geht also um winzigste Dimensionen. Sichtbares Licht bewegt sich im Bereich zwischen ca. 400 und 800nm Wellenlänge, und da sich die Lichtstreuung bei kleineren Partikeln enorm reduziert, werden diese schließlich unsichtbar. Von „Nano“ ist mit bloßen Augen nichts zu sehen.

Größenvergleiche helfen der Vorstellungskraft am besten auf die Sprünge – dieser stellt den gängigsten dar: Ein Nanometer verhält sich in seiner Größe zu einem Fußball so wie der Fußball zur Erde. Würde man einen Wassertropfen auf 1m^2 Fläche verteilen, wäre die

Schicht 1nm dick – soviel wachsen übrigens die Fingernägel eines Menschen in einer Sekunde.

In dem berühmten Film „Powers of Ten“ der Designer Charles und Ray Eames, der als Klassiker auf diesem Gebiet gelten kann und der heute Kultstatus besitzt, wird eine Reise durch die Zehnerdimensionen in den Kosmos gezeigt, was die Unterschiede zwischen den Dimensionen deutlich vor Augen führt. Dieser sehenswerte Film von 1977 ist über das Eames Office in den USA noch heute zu beziehen und kann unproblematisch über Internet dort bestellt werden.

Für den noch relativ neuen Begriff Nanotechnologie gibt es bisher international keine klare und allgemein gültige Definition, er steht aber üblicherweise als Oberbegriff für unterschiedlichste Arten der Analyse und Bearbeitung von Materialien im nanoskaligen Bereich. Als Nanotechnologie lässt sich von daher gesehen grob alles bezeichnen, was sich im Größenbereich unter 100nm bewegt. Diese Grenze wurde deshalb gewählt, weil an ihr quasi ein „Knick in der Natur“ stattfindet. Hier verändern sich die Materialeigenschaften der Festkörper auf Grund ihrer Größe, zum Beispiel wechselt Gold seine Farbe und wird rot. Ab 100nm abwärts fängt es an besonders spannend zu werden.

Die Definition des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) in Deutschland drückt es folgendermaßen aus: „Nanotechnologie beschreibt die Untersuchung, Anwendung und Herstellung von Strukturen, molekularen Materialien und Systemen mit einer

Die leuchtend blaue Farbe der Schmetterlingsflügel entsteht durch Lichtreflektion – ganz ohne Farbstoff. Die Flügel sind von nanostrukturierten Schuppen bedeckt, die das Licht reflektieren und durch Interferenz alle Farben bis auf den blauen Anteil auslöschen. Solche physikalisch entstehenden Farben verblasen nicht. Deshalb versuchen Forscher den Effekt mit Lacken und auch Folien künstlich zu erzeugen.

Gold-Nanopartikel gelten als idealer „Baustoff“ für Nanostrukturen. Ihre einzigartigen optischen, elektronischen sowie katalytischen Eigenschaften sind besonders interessant.

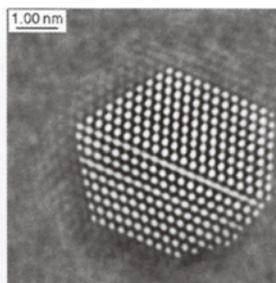
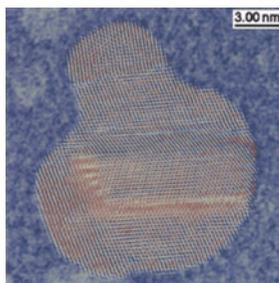


Dimension oder Fertigungstoleranz typischerweise unterhalb von 100 Nanometern. Allein aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten resultieren dabei neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungen.“

Oder um es mit den Worten des amerikanischen Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) Subcommittee des U.S. National Science and Technology Council (NSTC, White House), welches die National Nanotechnology Initiative (NNI) koordiniert, zu definieren:

„(Nanotechnologie ist die) Forschung und technische Entwicklung auf atomarer, molekularer und makromolekularer Ebene, in der Längenskala von etwa 1 bis 100 Nanometer, um zu einem grundlegenden Verständnis

von nanoskaligen Phänomenen und Materialien zu gelangen und daraus Strukturen, Geräte und Systeme zu schaffen und zu verwenden, die auf Grund ihrer kleinen und/oder mittleren Größe neuartige Eigenschaften und Funktionen aufweisen. Solche neuen und spezifischen Eigenschaften entstehen typischerweise erst bei einer kritischen Längenskala von unter 100nm. Nanotechnologische Forschung und Entwicklung beinhaltet die kontrollierte Handhabung von nanoskaligen Strukturen und deren Integration in größere materielle Komponenten, Systeme und Architekturen. Innerhalb solcher größeren Baugruppen finden die Kontrolle und das Modellieren von deren Strukturen und Komponenten im nanoskaligen Maßstab statt. In bestimmten Fällen kann die kritische Längenskala für solche neuartigen Eigenschaften und Phänomene unter 1 nm liegen

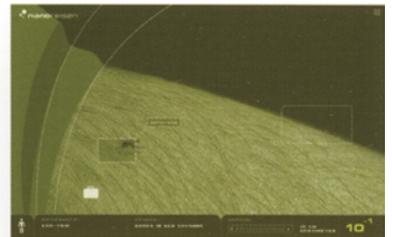




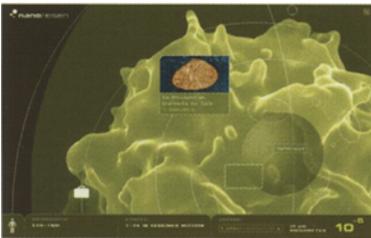
Home – Willkommen an Bord!



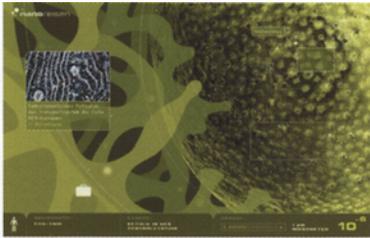
Start 10^0 – Reisebeginn im Straßencafé



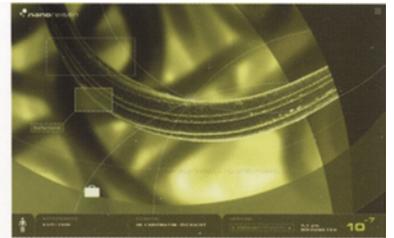
Egotrip 10^{-1} – Rodeo in der Savanne



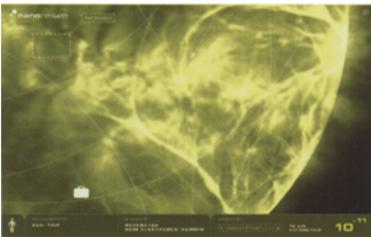
10^{-5} – T-26 in geheimer Mission



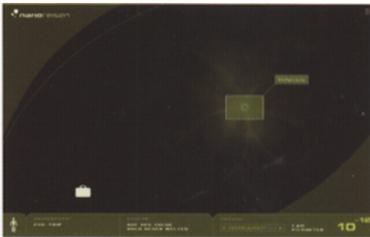
10^{-6} – Besuch in der Zentralstation



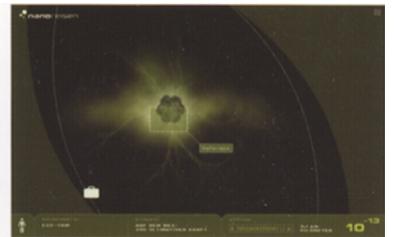
10^{-7} – Im Chromatin-Dickicht



10^{-11} – Boxenstopp beim Elektronen-Rennen



10^{-12} – Auf der Suche nach neuen Wegen

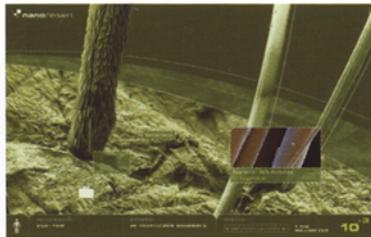


10^{-13} – Auf dem Weg zur ultimativen Kraft

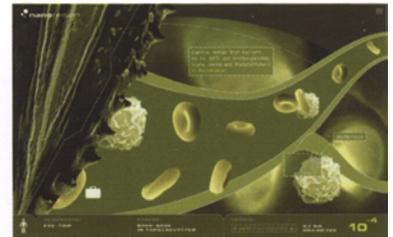
„Nanoreisen, Abenteuer hinter'm Komma“ zeigen die Mikro- und Nanowelt durch einen virtuellen Ausflug in kleinste Dimensionen. Der Filmstrip des VDI Technologiezentrums (Idee, Konzept und Realisierung: Agentur Lekkerwerken, if communication design award, gold, 2005) ist als CD und Download erhältlich. Auf verschiedenen Reiserouten kann man die sonst unsichtbaren Welten und die kleinsten Dimensionen unseres Universums erforschen. Die hier gezeigte Reiseroute ist der sogenannte „Ego-Trip“.



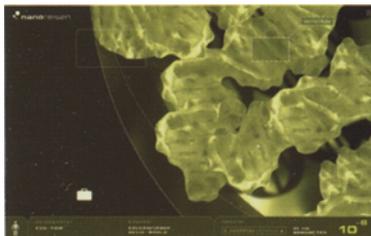
10⁻² – Raubtierfütterung in Transsilvanien



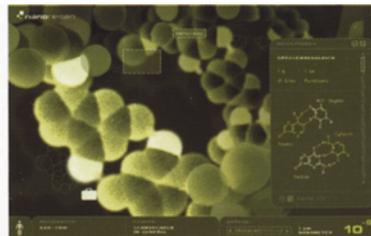
10⁻³ – Im tropischen Haarwald



10⁻⁴ – Rush-Hour im Kapillarsystem



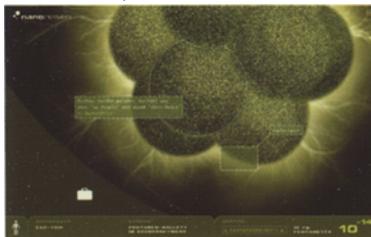
10⁻⁸ – Erlebnispark Helix-World



10⁻⁹ – Schnorcheln im Genpool (Nano-Ebene)



10⁻¹⁰ – Schwerelos im Wolkenorbital



10⁻¹⁴ – Protonen-Ballett im Kernkraftwerk



10⁻¹⁵ – Gala-Dinner mit Feuerwerk



10⁻¹⁶ – Egotrip Ende – „Mach Dich auf den Weg in die kleinen Welten ...“

Am Beispiel von Sand ist klar erkennbar, wie in Lösungen mit abnehmender Partikelgröße die Transparenz zunimmt. Bei kleinster Partikelgröße im Nanometerbereich (rechts) erscheint die Lösung trotz 50% Feststoffanteil transparent, so dass sogar ein Laserstrahl sichtbar wird.

Die Grafik verdeutlicht die Größenverhältnisse durch den Vergleich verschiedener Maßstäbe, vom geläufigen Meter bis hin zum Nanometer.

(z. B. bei der Handhabung von Atomen bei ~ 0.1 nm) oder aber auch größer als 100 nm sein (z. B. gewinnen Nanopartikel-verstärkte Polymere ihre einzigartige Eigenschaft bei ~ 200 – 300 nm als Funktion der lokalen Brücken bzw. Bindungen zwischen Nanopartikeln und dem Polymer).“

Nanopartikel, auch Nanoteilchen genannt, messen nur wenige Nanometer und bestehen aus wenigen bis mehreren tausend Atomen. Das Material selbst, aus dem die Nanopartikel bestehen, ist keineswegs etwas Besonderes. Die Ausgangsmaterialien für Nanopartikel sind organisch oder anorganisch und bestehen beispielsweise aus Silber oder Keramik. Es können Elemente sein, zum Beispiel Kohlenstoff, oder auch Verbindungen, beispielsweise Oxide, oder es kann sich um Kombinationen verschiedener Verbindungen oder Elemente handeln. Der Clou liegt also nicht im Material als solchem, sondern in der Größe der Partikel. Nanopartikel verfügen in Relation zu ihrer Größe über eine riesige Oberfläche. Ein an sich träges Material wird deshalb in dieser Dimension plötzlich hoch reaktiv und damit für viele Nutzungen, etwa als Katalysator, äußerst interessant. Dabei lagern sich die Nanopartikel gern aneinander an. Nanopartikel mit weniger als 1000 Atomen, also besonders kleine Nanopartikel, werden Cluster genannt.

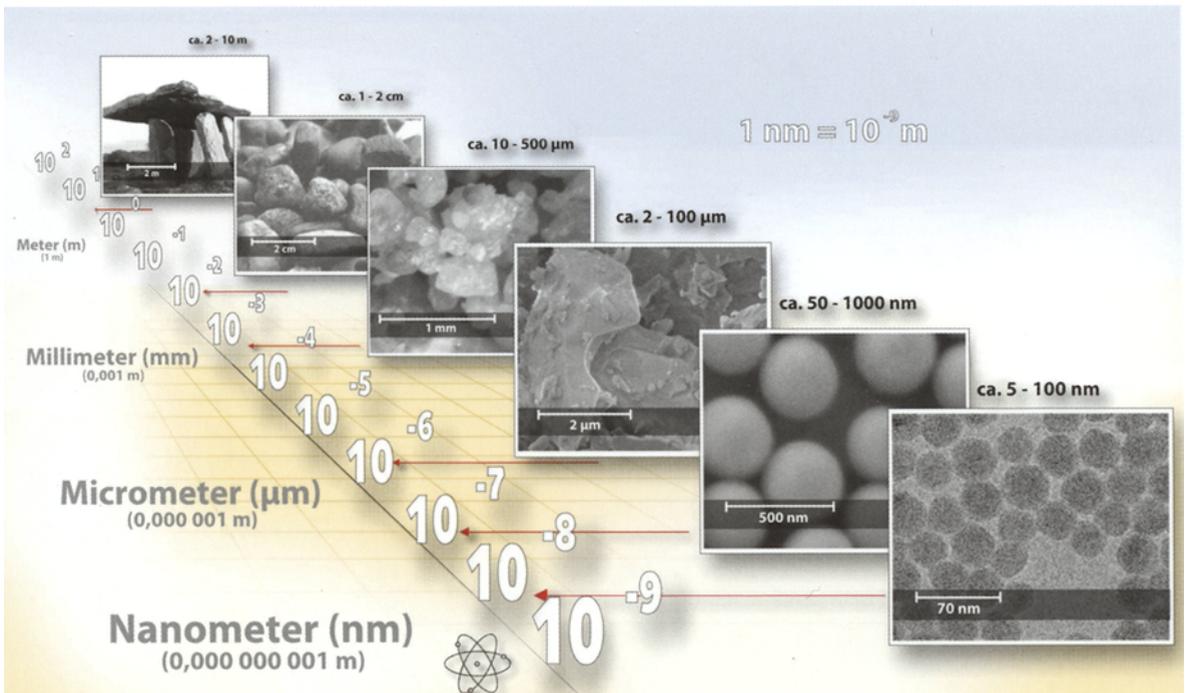
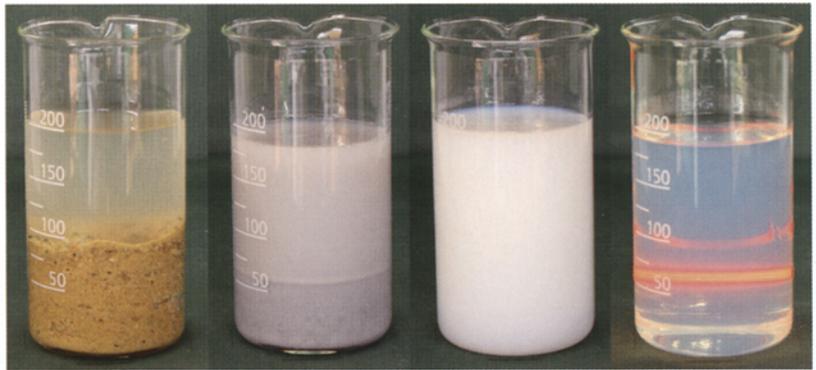
Da die Nanopartikel unsichtbar sind, weil sie kleiner als die Wellenlänge sichtbaren Lichts sind und damit das Licht nicht mehr streuen, kann eine Lösung beispielsweise bei 60% Feststoffanteil aus Nanopartikeln immer noch durchsichtig sein.

Unabhängig von ihrer künstlichen Produktion kommen Nanopartikel auch in natürlichen Materialien wie zum Beispiel Ton, einem der Bestandteile des Lehms, vor, der einen hohen Anteil natürlicher Nanopartikel enthält. Darin liegen Eigenschaften wie Frostbeständigkeit, Festigkeit und Dauerhaftigkeit begründet. Ein weiteres Beispiel aus der Natur ist Perlmutter, das ebenfalls aufgrund seiner Nanostruktur äußerst stabil ist.

Die ultradünnen und unsichtbaren Nanobeschichtungen, die heute im Mittelpunkt der Anwendungen für Gestalter stehen, besitzen in der Regel eine Schichtdicke von 5 – 10 nm. Die richtige Schichtdicke stellt sich beim Aufbringen einer Beschichtung beispielsweise durch Sprühen automatisch ein, ein Phänomen, das man mit dem Begriff „Selbstorganisation“ bezeichnet. Auf einem Quadratzentimeter befinden sich dann Milliarden von Nanopartikeln.

Die Herstellung solcher ultradünnen Schichten mit Hilfe der Chemie erfolgt im sogenannten „Bottom-up“-Verfahren, das heißt man entwickelt vom Kleinen ins Große, beginnend beim Atom und resultierend im gewünschten Produkt. Bei der konventionellen Herstellung von Ausgangstoffen wurde und wird prinzipiell das „Top-down“-Verfahren angewandt, bei dem ein Material beispielsweise durch Mahlen bis zur gewünschten Größe verkleinert wird. Nanotechnologie im Gesamten, also auch außerhalb der Anwendung für Beschichtungen, bedient sich beider Verfahren.

Nanopartikel können in Lösungen verarbeitet werden, die trotz eines großen Feststoffanteils transparent



bleiben. Eine andere Möglichkeit der Verarbeitung sind Nanopuder. Nanobeschichtungen können grundsätzlich auf herkömmliche Weise durch Sprühen, Tauchen usw. aufgebracht werden.

Für das Bauwesen ist Nanotechnologie eine „enabling technology“, das heißt eine Basistechnologie, die dazu dient, andere technologische Entwicklungen erst zu ermöglichen. Verschiedene wissenschaftliche Disziplinen greifen ineinander und arbeiten zunehmend interdisziplinär: Biologie, Physik und Chemie genauso wie ingenieurtechnische Bereiche. Im architektonischen Planungsprozess ist das Zusammenbringen des Fachwissens verschiedener Fachplaner, und damit deren Zusammenarbeit, schon frühzeitig nötig. Bei der Verwendung von Nanotechnologie in den gestaltenden und konstruierenden Disziplinen geht es häufig um die Optimierung von bestehenden Produkten oder bekannten Materialien. Von großem Interesse ist dabei die Entwicklung neuer Funktionalitäten, also von Eigenschaften, die ohne Nanotechnologie nicht erreicht werden könnten, oder auch von Multifunktionalität. Damit einher gehen eine bessere Wirtschaftlichkeit und Ressourcenschonung. Schadensvermeidung kann eine weitere sinnvolle Zielsetzung sein.

Bei der Einführung neuer Technologien in einem Anwendungsbereich wie dem Bauwesen sollte grundsätzlich immer die Frage gestellt werden: Was bringt es? Bei der Anwendung der Nanotechnologie geht es sowohl um „added value“, um Zusatznutzen, als auch um „market demand“, um die Marktbedürfnisse, an denen

sich Produktentwicklungen orientieren. Auch gutes Design orientiert sich grundsätzlich am Bedarf, und auf diese Weise findet eine Evolution sowohl der Nanomaterialien als auch der Nanoprodukte statt – langfristig werden sich Materialien und auch Produkte, für die ein Bedarf vorhanden ist, etablieren, während andere wieder vom Markt verschwinden werden. Der Einsatz von Nanotechnologie ist also kein Selbstzweck, sondern folgt der intensiven Nachfrage nach Innovationen – und dazu gehört durchaus auch der Marketingfaktor. Nanotechnologie bietet konkreten Nutzen, unabhängig vom Marketingfaktor, auf den folgenden Gebieten:

- Optimierung von bereits bestehenden Produkten
- Schadensvermeidung
- Reduzierung von Gewicht bzw. Volumen
- Reduzierung von Produktionsschritten
- Sparsamer Materialeinsatz
- Reduzierung von Pflegeaufwand (leichte Reinigung, größere Reinigungsintervalle) bzw.
- Betriebsunterhalt

Und in der Folge davon

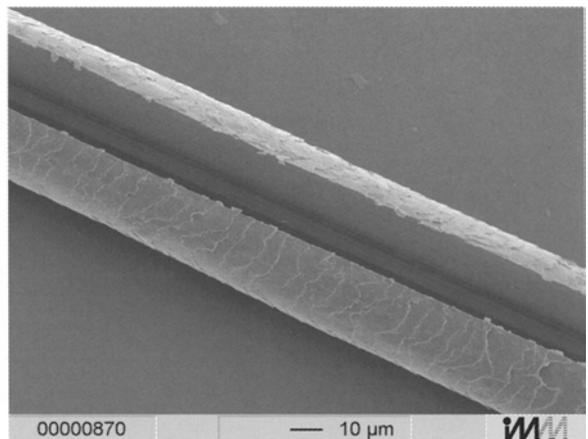
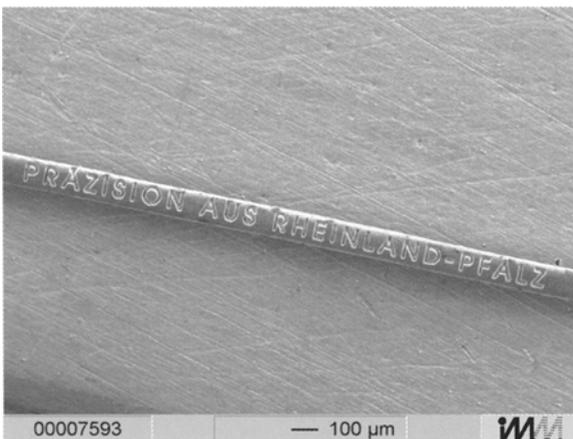
- Reduzierung von Rohstoff- und Energieverbrauch
- Verminderung des CO₂-Ausstoßes
- Ressourcenschonung
- Wirtschaftlichkeit
- Komfort

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Haares, mit Schriftzug versehen.

Haarspalterei in Vollendung – ebenfalls unter dem REM.

Mit der Nanotechnologie rückt das maßgeschneiderte Material mit individuellem Eigenschaftsprofil statt des gängigen Katalogwerkstoffs in greifbare Nähe. Oberflächen emanzipieren sich deutlich, verfügen über klar definierte Funktionen und können sich dabei grundlegend von beschichtetem Material unterscheiden. Leitgedanke der Nanotechnologie ist grundsätzlich immer der Einsatz geringster Mengen an Rohstoffen und Energie. „Nano“ steht damit sowohl ökologisch als auch ökonomisch betrachtet langfristig auf der Gewinnerseite. Triebfeder der Entwicklung ist dabei in aller Regel nicht die Innovation an sich, das muss man illusionslos

sehen, sondern der Kostenfaktor. In der Praxis ist es nicht entscheidend, ob „Nano“ mit im Spiel ist, sondern ob die Sache unter Realbedingungen dauerhaft funktioniert. Industrielle Standards, Prüfmethoden, Langzeittests und Gütesiegel, die in der Entwicklung sind, kommen diesem Bedürfnis entgegen. Für den zu fordernden materialgerechten, zielgerichteten und sinnvollen Einsatz der Nanotechnologie stehen dabei aus der Perspektive der Bauherrschaft bzw. der Nutzer die Ästhetik, Funktionalität, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit im Fokus.



Entwicklung der Nanotechnologie

„THERE'S PLENTY OF ROOM AT THE BOTTOM“

Von der Natur über historische Beispiele, das Raster-
elektronenmikroskop und atomare Schriftzüge hin zu
Buckyballs und Nanotubes.

Nanopartikel sind ein natürliches Phänomen, daher wundert es nicht, dass damit verbundene Eigenschaften in der Geschichte immer wieder genutzt wurden. Zu den frühen Beispielen, bei denen „Nano“ mit im Spiel war, gehören die rote Farbe Römischer Glaspokale und das Rot der Verglasung mittelalterlicher Kirchenfenster. Die intensive Rotfärbung des für diese Zwecke verwandten Goldes war für die Farbenpracht der Fenstergläser mitverantwortlich. Denn die Färbung der Goldpartikel verändert sich abhängig von Größe und Form und kann rot, blau oder auch violett sein. Der Lycurgus Becher aus Römischer Zeit ist eine andere historische Berühmtheit, die mit demselben Effekt arbeitet; er ist in einer Vitrine des British Museum in London zu bewundern und erscheint je nach Lichteinfall rot oder grün. Ein weiteres prominentes Beispiel sind die extrem harten Samuraischwerter. Weniger bekannt ist, dass auch die Damaszener Schwerter Kohlenstoff-Nanoröhren (siehe S. 24f.) enthalten. In diesen historischen Zeiten war natürlich nicht bekannt, dass man es dabei mit Nanopartikeln zu tun hat; man nutzte den Effekt der veränderten Materialeigenschaft für die eigenen Zwecke, ohne sich der Ursachen bewusst zu sein.

Der bekannte englische Physiker Lord Faraday, der auch eine Ausbildung zum Chemiker genossen hatte, untersuchte bereits Anfang des 19. Jahrhunderts als erster die Farbeffekte von Gold. Der nächste war der österreichische Chemiker Richard Zsigmondy, der für seine Forschung 1926 den Chemie-Nobelpreis erhielt. Er beschäftigte sich um die Wende zum 20. Jahrhundert mit

Goldrubinglas und entwickelte 1913 ein Mikroskop, das Partikel von einem Nanometer Größe sichtbar machte. Die für die aktuellen Entwicklungen relevante Geschichte nimmt ihren legendären Anfang zu Weihnachten 1959. Am 29. Dezember dieses Jahres fand in Pasadena, Kalifornien das alljährliche Treffen der American Physical Society an einer der führenden Privatuniversitäten, dem California Institute of Technology (Caltech) statt, auf dem der spätere Physik-Nobelpreisträger Richard P. Feynman seine mittlerweile weltberühmte Rede mit dem Thema „There's Plenty of Room at the Bottom“ hielt. Ahnungsvoll stellte er fest, dass man sich im Jahr 2000 fragen werde, warum es bis 1960 dauerte, bis man diese verblüffend kleine Welt zu erkunden begann – „It is a staggeringly small world that is below. In the year 2000, when they look back at this age, they will wonder why it was not until the year 1960 that anybody began seriously to move in this direction.“ Bahnbrechende Ideen sind Gegenstand dieser Rede, wie die direkte Manipulation und Kontrolle von einzelnen Atomen, die Vision der Unterbringung der Encyclopaedia Britannica auf einer Nadelspitze, der Reduktion von Größen mit der damit einhergehenden Änderung von Gesetzmäßigkeiten und die Miniaturisierung von Computern. Das genannte Formulierung des Themas meint nicht nur: „Dort unten ist Platz“, sondern betont darüber hinaus: „Dort unten ist jede Menge Platz“ und Feynman verweist weiter, ohne auf Details eingehen zu wollen, auf die grundsätzlichen Möglichkeiten entsprechend der physikalischen Gesetze: “I will not now dis-