

Von der Technikbewertung zur Technikgestaltung Chancen und Risiken der Nanotechnologien

Arnim von Gleich

Universität Bremen

Fachbereich Produktionstechnik

Fachgebiet Technikgestaltung und Technologieentwicklung
sowie

Artec – Forschungszentrum Nachhaltigkeit

Überblick

- Nanotechnologien
- Die Zwickmühle der Technikfolgenabschätzung
- Nanodialog: Die Nano-Kommission der Bundesregierung
- Zwei Ansätze zur Umsetzung des Vorsorgeprinzips:
Vorläufige Risikobewertung (Gründe für Besorgnis)
Leitbildorientierte Technikgestaltung (green nanotechnologies)

Nanotechnologien

Ein Definitionsversuch

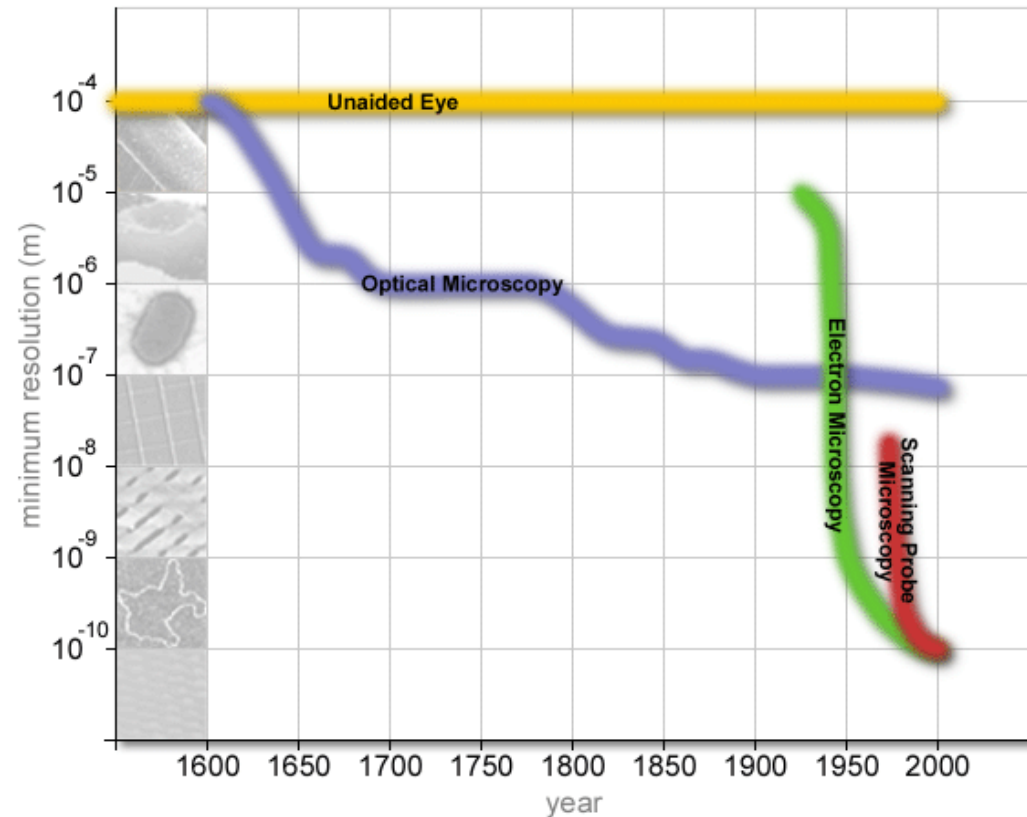
Kaum definierter Sammelbegriff
,umbrella term'

Gestaltungsoptionen in der
Größenordnung 10^{-9}m
(,atom by atom' Feynman 1959) +

Nutzung der in dieser Dimension
auftretenden (neuen) Funktionalitäten
(Effekte und Eigenschaften)

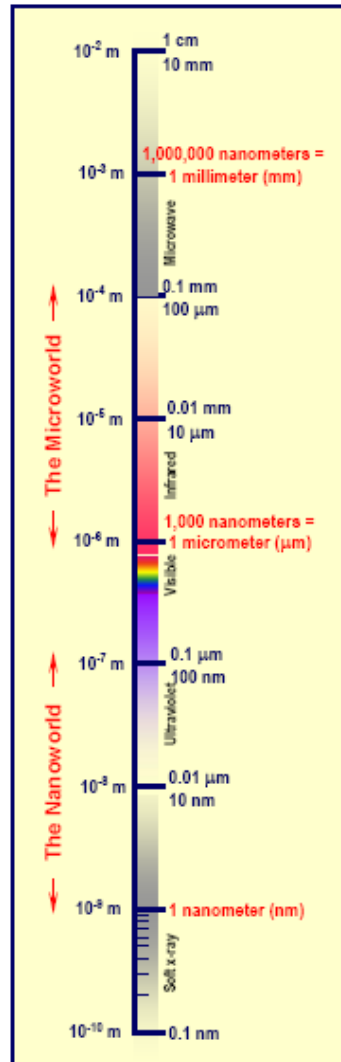
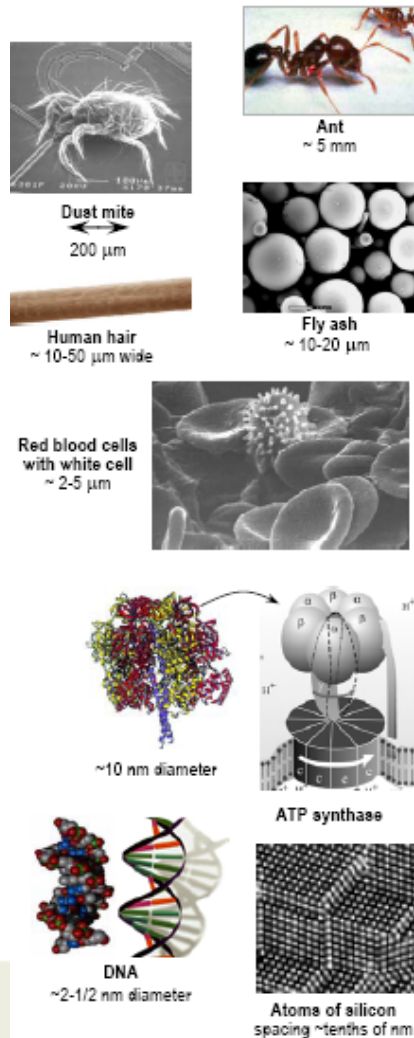
- Reaktivität (chemisch/biologisch)
- Katalyse
- optische / magnetische / elektrische
- Quanteneffekte
- Molekulare Selbstorganisation

Zusammenwirken von
Angewandter Physik, Chemie,
Biologie und Ingenieurwissenschaften

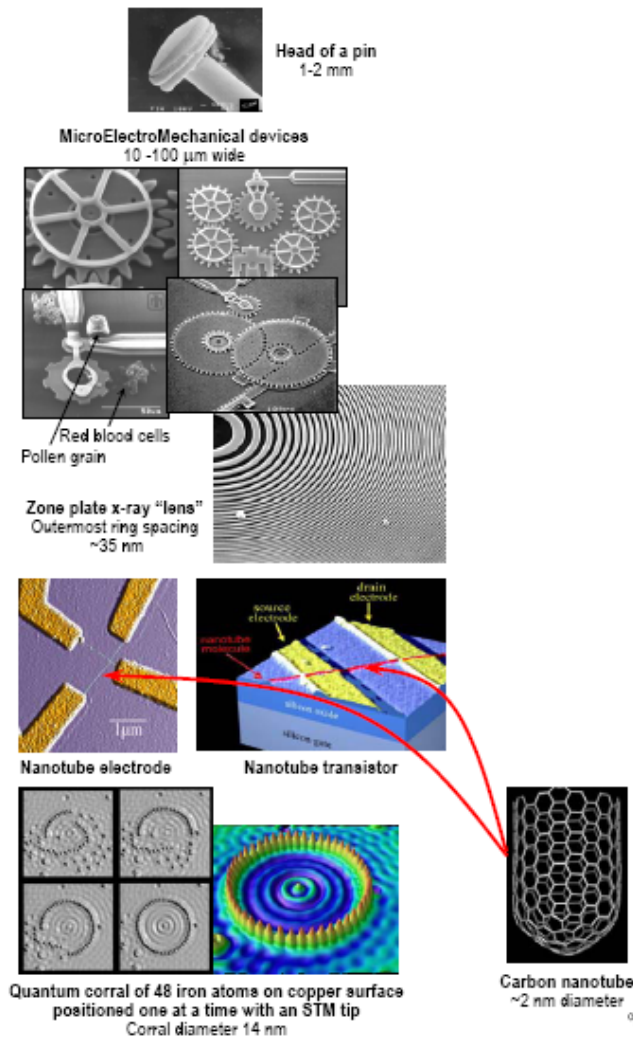


The Scale of Things -- Nanometers and More

Things Natural

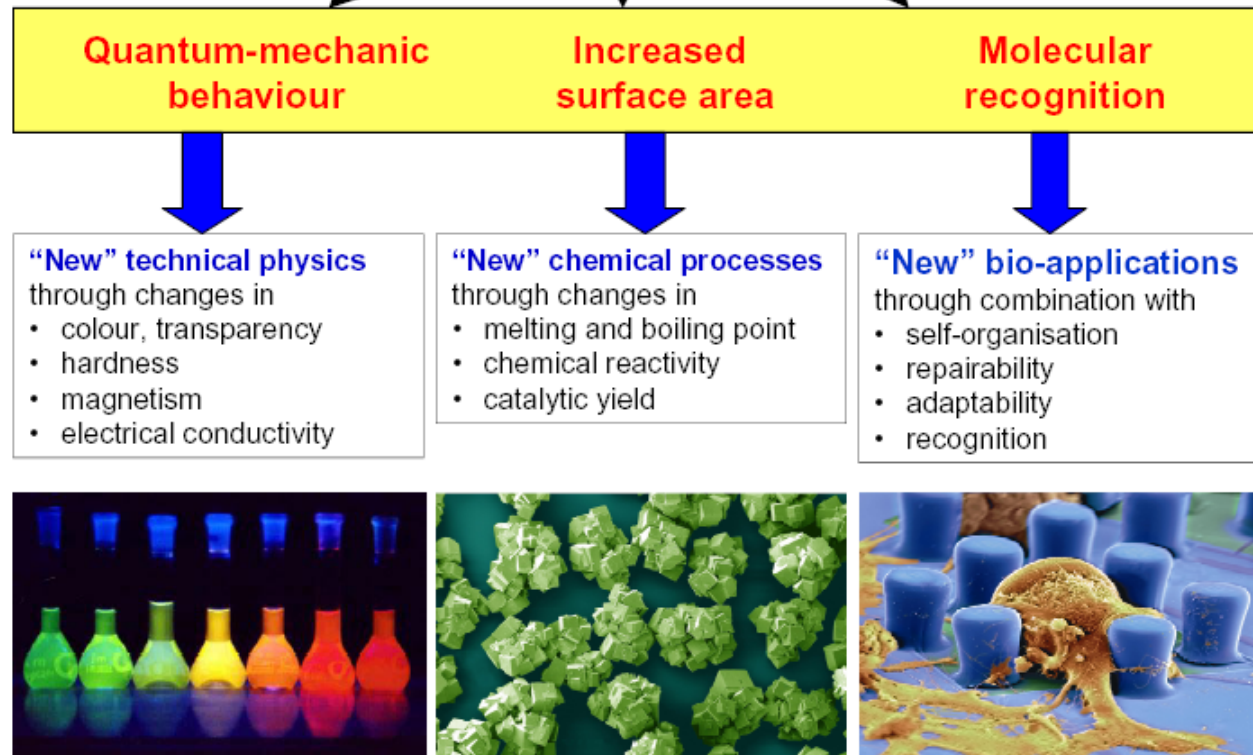


Things Manmade



The three main property changes in the nano-world

The journey into the nano-cosmos I: Scientific and technical principles



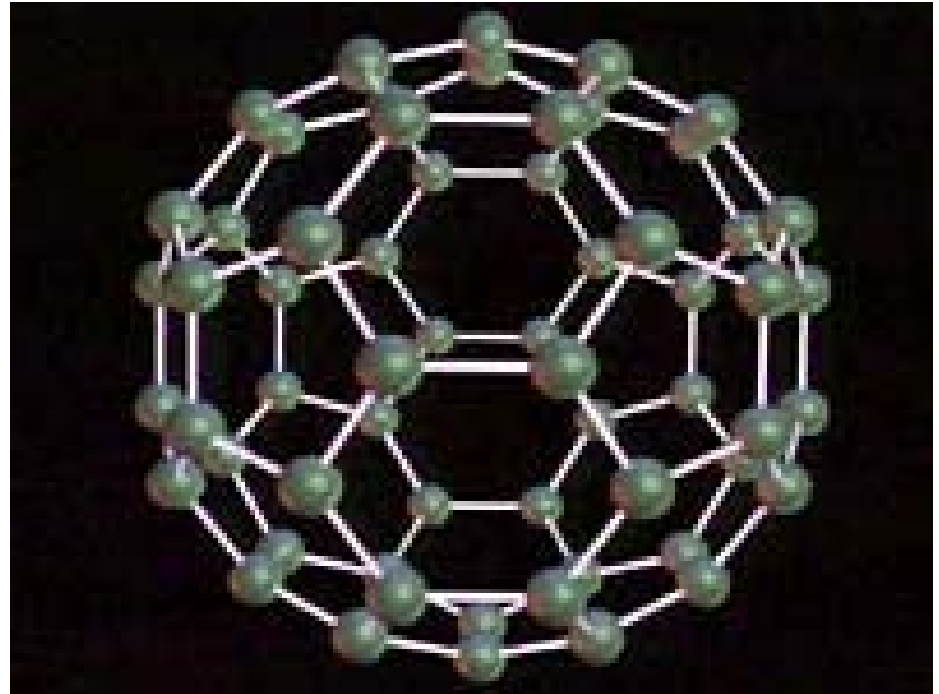
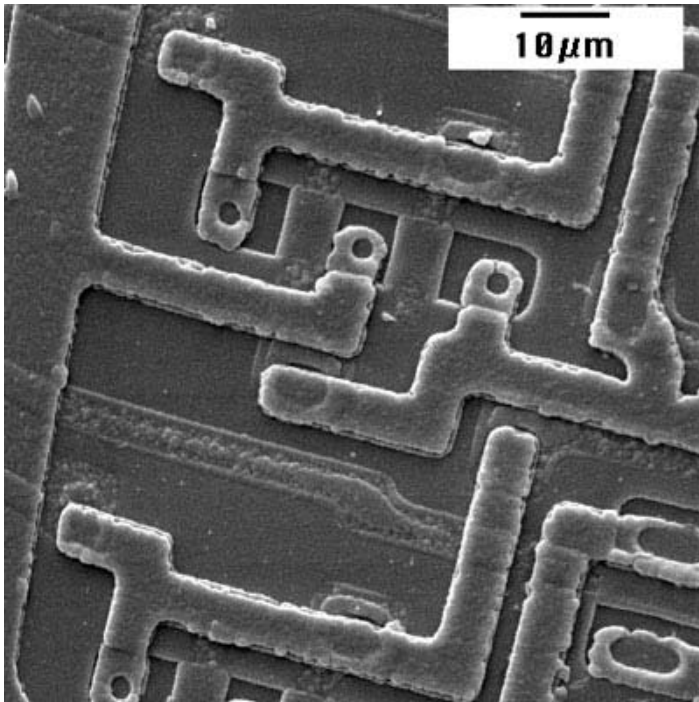
Pictures (from l. to r.): Institut für Physikalische Chemie - Universität Hamburg, BASF AG, Ludwigshafen, Siemens AG, München


Technologiezentrum


 Federal Ministry
 of Education
 and Research

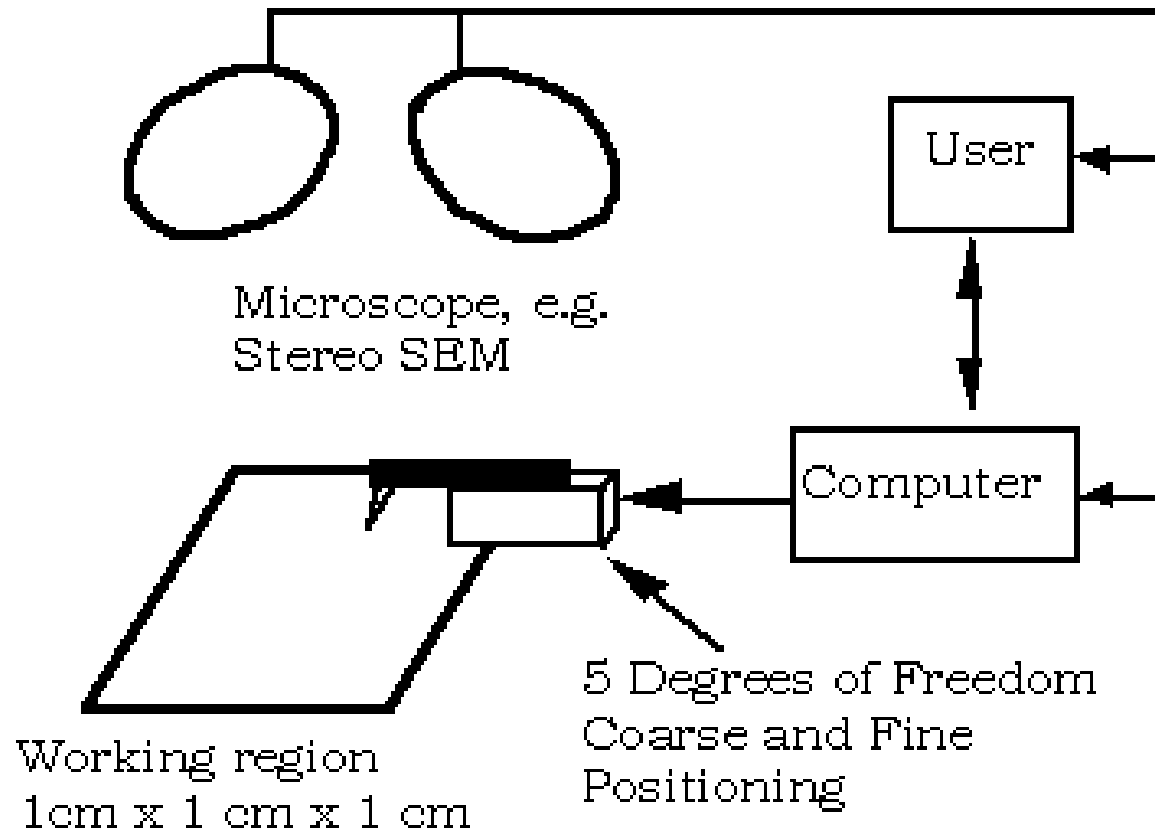
Gegenläufige Strategien

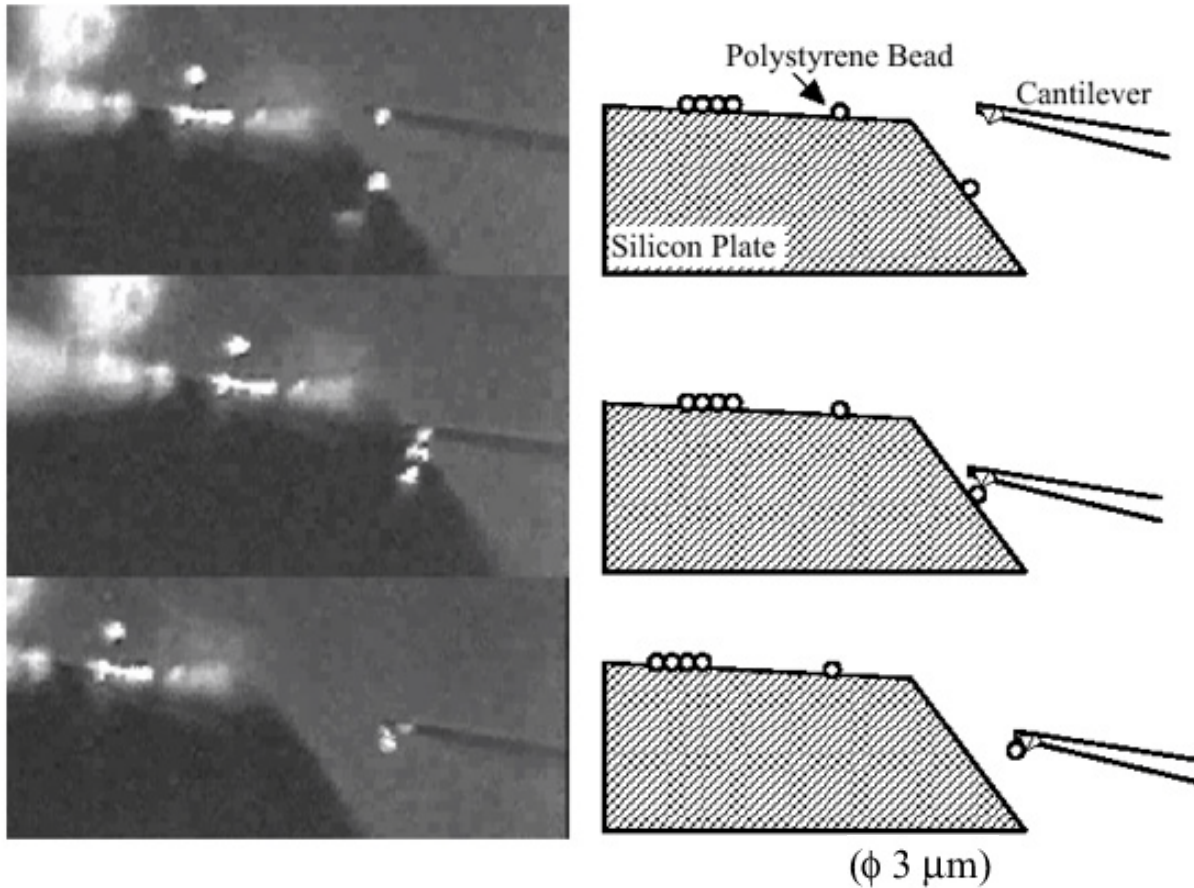
Top down \Leftrightarrow bottom up



Nano-Visionen

1. Der atomare Lego-Baukasten?



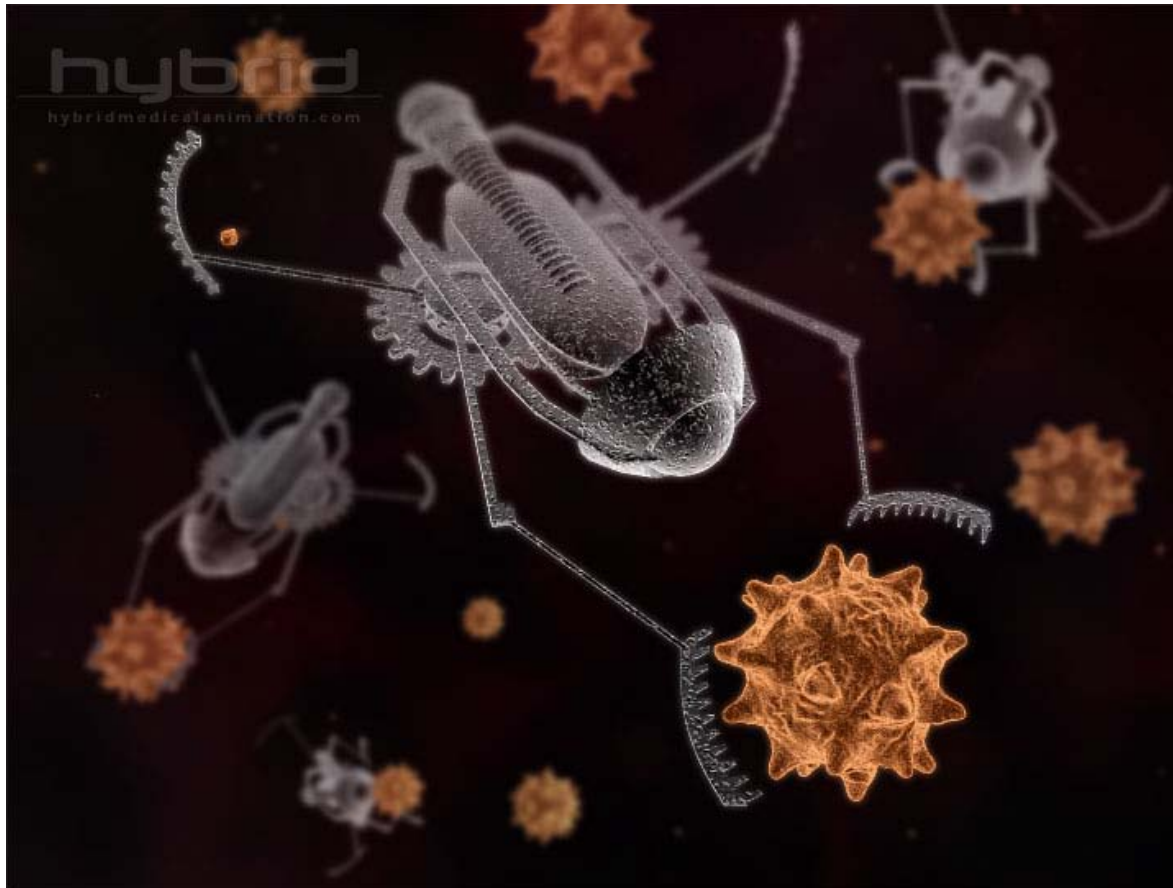


Aufnahmen und Platzieren von Polystyrolnanokügelchen

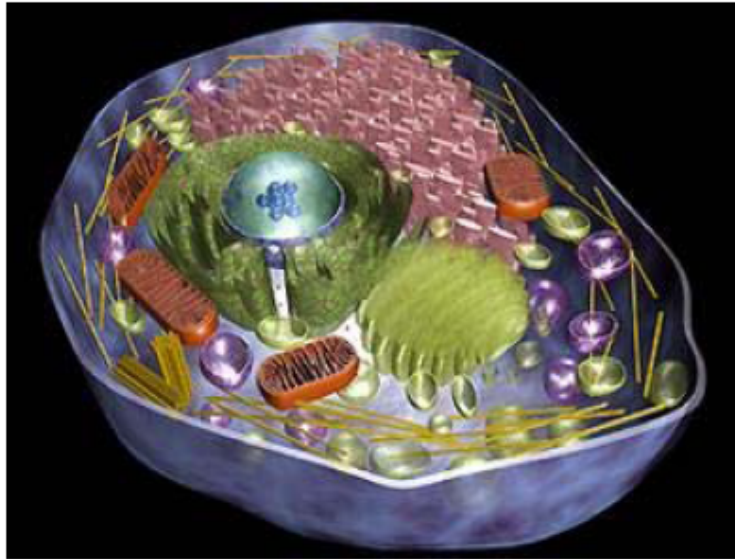
www.mein.nagoya-u.ac.jp/.../NANO_99J_2.jpg

Nano-Visionen

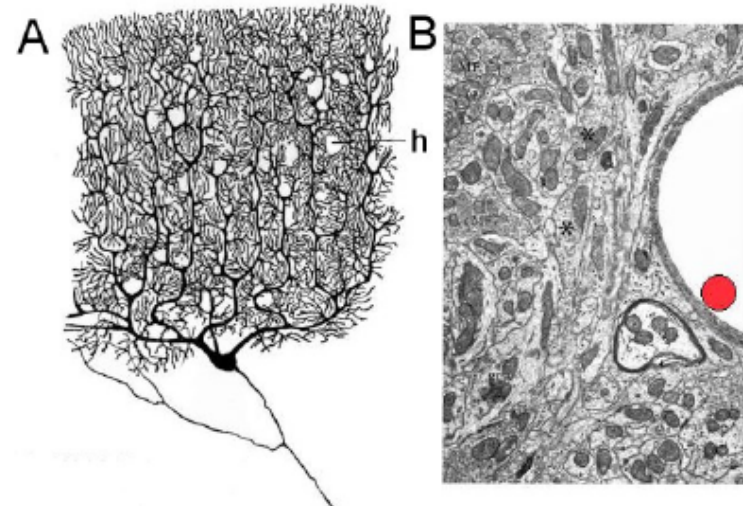
2. Assembler und nanobots



Challenge 2015: Specify the state of a cell and of nervous system from the nanoscale



The Cell
– basic nanosystem of life

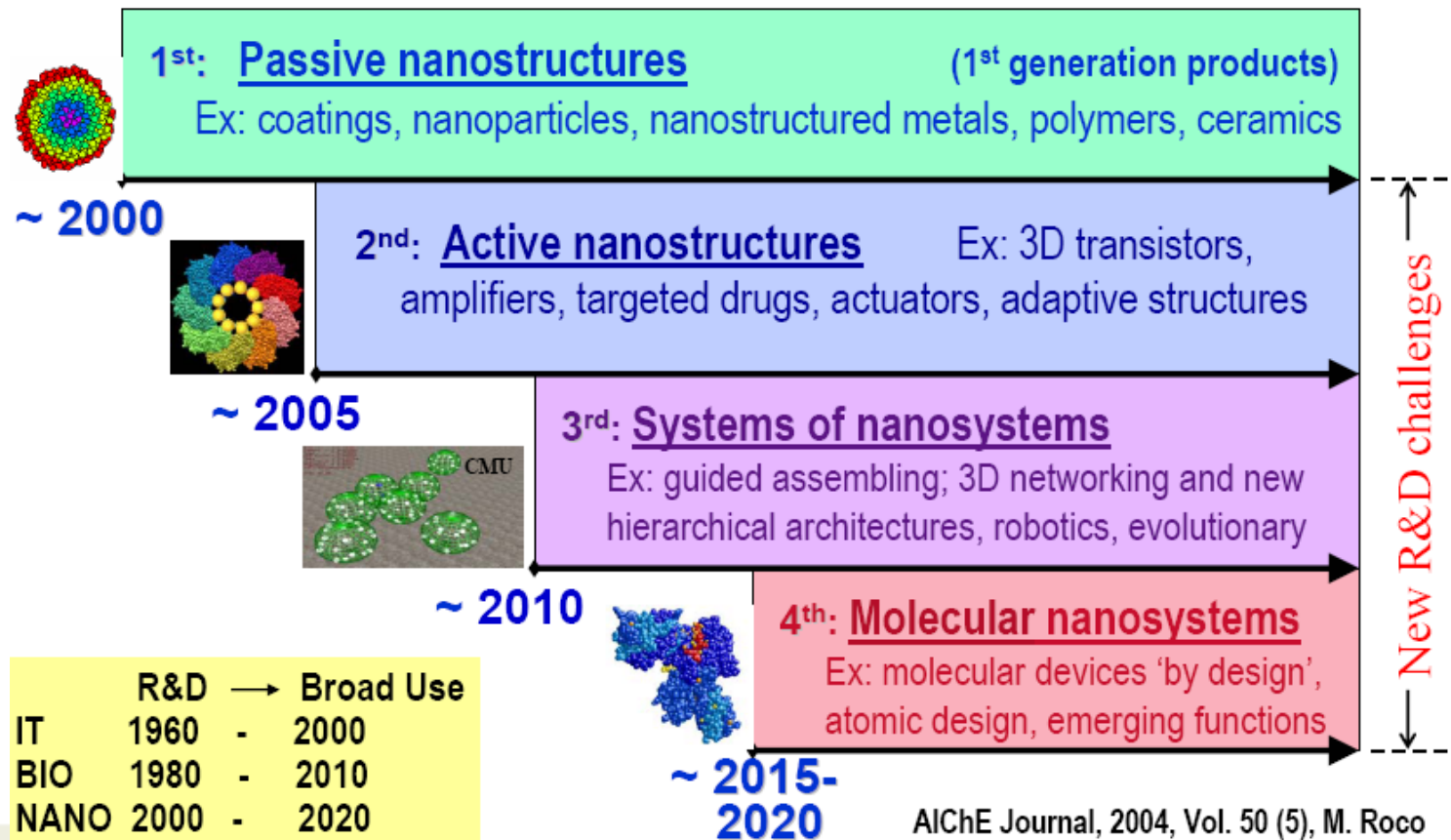


R. Llinas, 2003

The brain
– complex system based on nanoscale processes

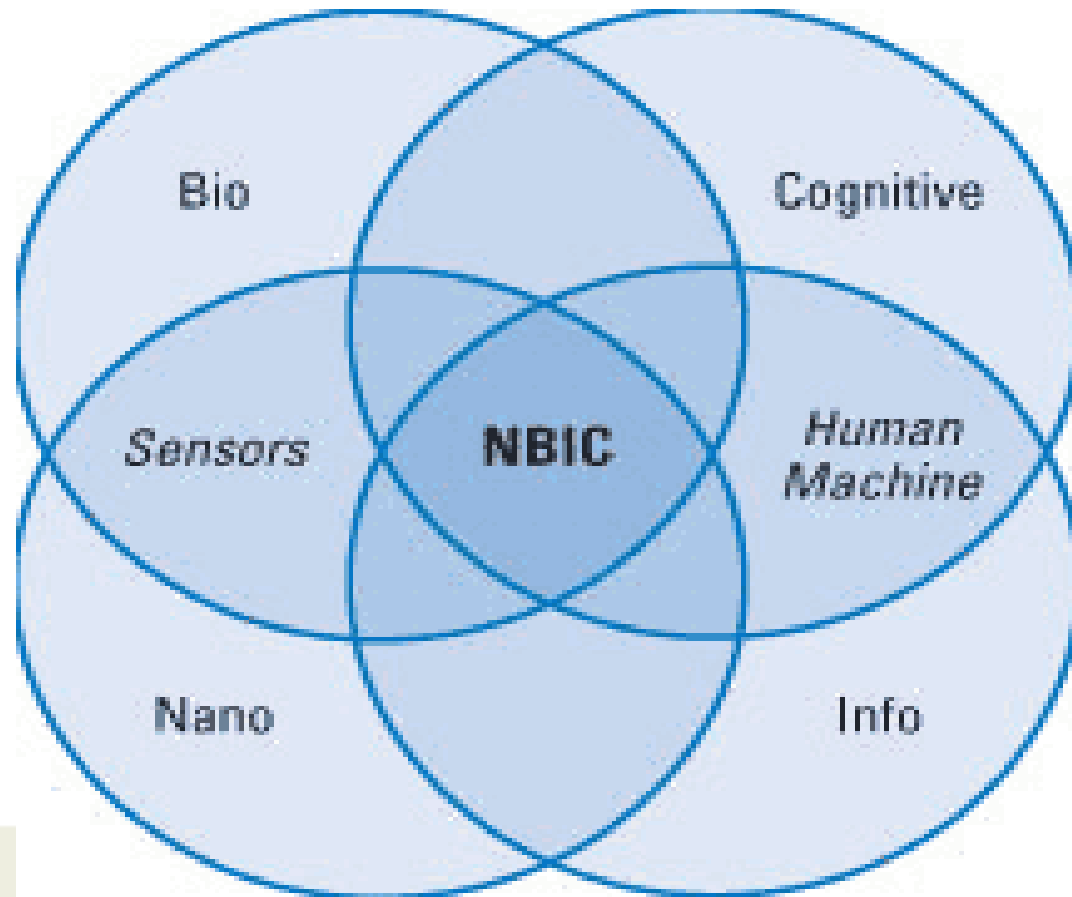
Measure and simulate, 3 dimensional, highly parallel, . . .

Timeline for beginning of industrial prototyping and nanotechnology commercialization: Four Generations



Nano-Visionen

3. Converging Technologies ,enhancing human performance‘



Nano-Visionen

4. Märkte, Wettbewerbsfähigkeit, Arbeitsplätze

**Nanotechnologien gelten als gesellschaftlich und ökonomisch besonders viel versprechend:
,Schlüsseltechnologie‘ und ,Basisinnovation‘**

Technologie des 21. Jahrhunderts, Grundlage der nächsten industriellen Revolution

Erwartungen (1. und 2. Generation)

Medizinische Diagnostik und Therapie

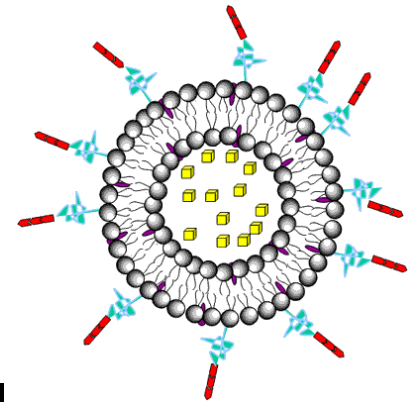
Lab on a chip
Drug delivery systems
Krebstherapie

Neue Werkstoffe

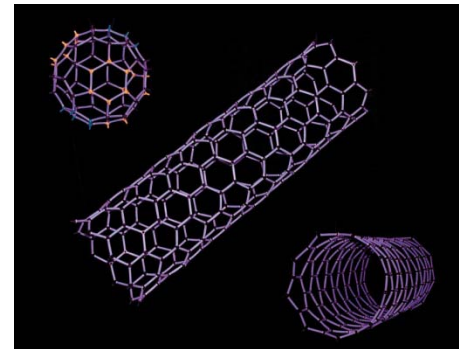
Carbon Nanotubes
Knochen- und Zahnersatz

Funktionalisierte Oberflächen

selbst reinigend
ultrahart / verschleißarm / selbst schmierend
korrosionsfest
hygienisch (biozid)



http://www.azonano.com/work/S815q8AlNwdnVw237x3o_files/image003.gif



http://www.nanoscience.ch/nccr/information/media/pictures_original/gallery_01/gallery_01_03/pics_09/internet/nanotube.jpg



<http://www.kompetenznetze.de/netzwerke/bionik-biokon/innovationshighlights/de/Lotus-Effect/image>

Erwartungen

„Radical green vision“ – Nanotechnologien ermöglichen eine umfassende umweltentlastende Strategie

- **Radikale Reduktion des Ressourcenverbrauchs
„atomare Effizienz“**
- **Biomimetik: Arbeiten nach dem Vorbild der Natur
Nanotechnologie könnte in vielen Bereichen helfen,
in denen die Bionik derzeit nicht weiter kommt**

Nano-Umweltinnovationen

Typologie 1

Top down (verstärkte Kontrolle):

- **Miniaturisierung** (weniger Material ...)
- **Werkstoffdesign** (weniger Additive, Legierungen, mehr Leichtbau ...)
- **Oberflächendesign** (weniger Abrieb, Korrosion, Schmierung, mehr Selbstreinigung, Dünnschichtsolarzellen ...)
- **Katalyse** (atomare Effizienz, hohe Spezifität)

Nano-Umweltinnovationen

Typologie 2

End-of-pipe-Technologien:

- **Emissionskontrolle** (Filter, Membranen, Katalysatoren)
- **Bodensanierung** (Membranen, Katalysatoren, Partikel)

Produkt- und prozessintegriert:

- **Gefahrstoffsubstitution** (Flammschutzmittel)
- **Werkstoffwahl, Ressourceneffizienz** (Beschichtungen)
- **Energieumwandlung und –effizienz** (Photovoltaik, Brennstoffzelle, Isolierung, Leichtbau, Beleuchtung und Displays)

Völlig neue Möglichkeiten (bottom up):

- **Hierarchisch strukturierte Werkstoffe** (Spinnenseide, Perlmutter ...)

Fallstudie: Styrolsynthese

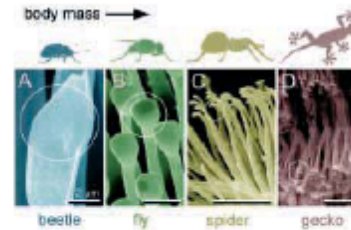
	Alt	Neu
Katalysator	Eisenoxid mit Schwermetallpromotoren (Chrom)	Einsatz mehrwandiger Kohlenstoff-Nanoröhren
Reaktionstemperatur	Ca. 600°C	-200°C → Ca. 400°C
Maximale Styrol-Ausbeute	45%	+15% → 60%
Reaktion	Dehydrierung mit Wasserdampfungabe	Oxydehydrierung mit Sauerstoffzufuhr

Biomimetik: Lernen von der Natur



Reise in den Nanokosmos

Nanotechnologie in der Natur



Mit Nano an der Decke : der Gecko

Geckos können jede Wand hinauflaufen, kopfunter über die Decke flitzen und mit einem einzigen Fuß an ihr hängen bleiben. Das geht mit – natürlich – Nanotechnologie. Der Geckofuß ist mit feinsten Haaren bestückt, die so anschmiegsam sind, dass sie sich der Unterlage über weite Strecken auf wenige Nanometer nähern können. Dann beginnt die sogenannte Van-der-Waals-Bindung zu wirken, die eigentlich sehr schwach ist, durch Millionen von Haftpunkten aber tragend wird. Die Bindungen lassen sich durch „Abschälen“ leicht lösen, so, wie man einen Tesafilm abzieht. So kann der Gecko die Decke entlanglaufen. Materialwissenschaftler freuen sich bereits auf ein synthetisches „Geckolin“.

Käfer, Fliegen, Spinnen, Geckos haben am Menschen die Natur als Vorbild für die Entwicklung von Nanotechnologie gefunden. Sie haben mit Mäusen, die mit dem Chitinschlauch eine Van-der-Waals-Bindung eingehen, je schwerer das Tier, desto besser und zahlreicher die Mäusen.

Kleben fürs Leben

Leben existiert, weil seine Bestandteile von einer raffinierten nanotechnologischen Klebekunst zusammengehalten werden. Auch bei Verletzungen, Beispiel Mückenstich: Die Einstichstelle wird rot, weil sich feinste Blutgefäße erweitern, durch die dann Schwärme von Leukozyten, Weiße Blutkörperchen, treiben. Zellen am Einstichort sondern einen Lockstoff ab. Abhängig von dessen Konzentration fahren die

Zellaukleidungen der Blutgefäße und die Leukozyten aufeinander abgestimmte Kleb-moleküle aus, die die Leukozytenfahrt an der Gefäßwand

leicht klebend verzögern. Bei Lockstoff-Höchststand kleben die Leukozyten fest an, andere Kleb-moleküle ziehen die Blutkörperchen dann durch die Gefäßwand zur Einstichstelle, wo sie sich über etwaige

Eindringlinge hermachen – Klebekunst in Vollendung. Nanotechnologische Imitate werden unter dem Stichwort „bonding on command“ erforscht – Kleben auf Kommando.



Muscheln als Klebekünstler

Die gemeine Miesmuschel – eben jene, die es im Restaurant mit Gemüse gekocht zu essen gibt – ist ein nanotechnologischer Klebekünstler. Wenn sie sich anheften will, öffnet sie ihre Schalen und schiebt ihren Fuß auf den Fels, wölbt den Fuß zur Saug-glocke und injiziert durch kleine Kanölen Ströme von Klebstoff-Kügelchen, Mizellen, in den Unterdruck. Die platzen dort und entlassen einen leistungsfähigen Unterwasserkleber, der so gleich zu einem kleinen Kissen aufschäumt. An diesem Schwingungsdämpfer ankert die Muschel mit elastischen Byssusfäden, so dass sie folgenlos von der Brandung gebeutelt werden kann.



Nanotechnologie

Befürchtungen

Gefahren durch Partikel / Feinststaub PM_{2,5-0,1}

Oberdörster et al.:

**Nanotoxicology an Emerging Discipline Evolving from Studies on
Ultrafine Particles**

<http://www.ehponline.org/members/2005/7339/7339.html>

Goldnanopartikel wandern direkt von der Nase ins Gehirn (bei Mäusen)

TB, tracheobronchial.

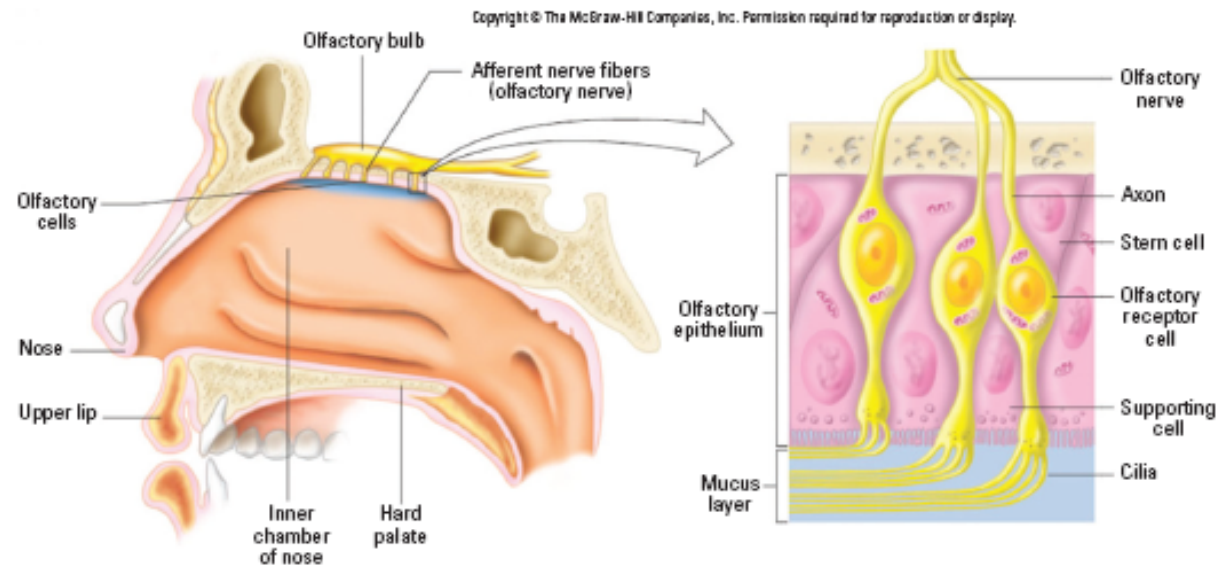


Figure 12. Close proximity of olfactory mucosa to olfactory bulb of the CNS. Inhaled NSP[s], especially below 10 nm, deposit efficiently on the olfactory mucosa by diffusion, similar to airborne “smell” molecules which deposit in this area of olfactory dendritic cilia. Subsequent uptake and translocation of solid NSP[s] along axons of the olfactory nerve has been demonstrated in non-human primates and rodents. Surface chemistry of the particles may influence their neuronal translocation. Copyright © the McGraw-Hill Companies, Inc. Reproduced from Widmaier et al. (2004) with permission from McGraw-Hill.

Befürchtungen

Neue Funktionalitäten => neue Chancen und Risiken

- **Selbstorganisation => Selbstvermehrung?**

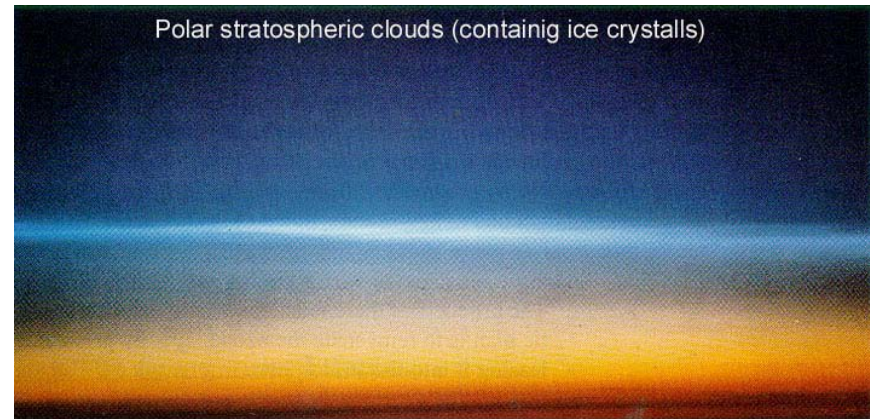
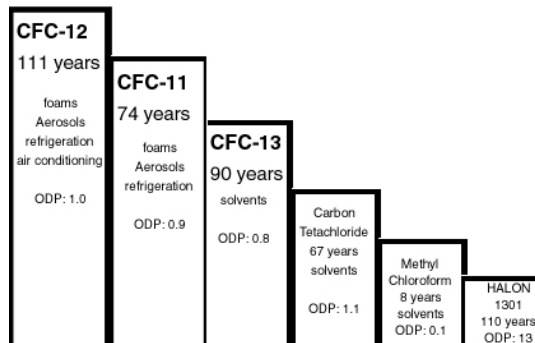
**In der top-down
Richtung
(Mikrosystemtechnik,
Robotik) extrem
unwahrscheinlich in
der biologischen
bottom-up Richtung
eher denkbar.**



http://www.nanotech-now.com/images/Art_Gallery/EV-52-large.jpg

FCKW als Beispiel für unvorhergesehene Folgewirkungen

Th. Midgley jr. blies 1930 auf dem ACS meeting mit eingeatmeten FCKW eine Kerze aus



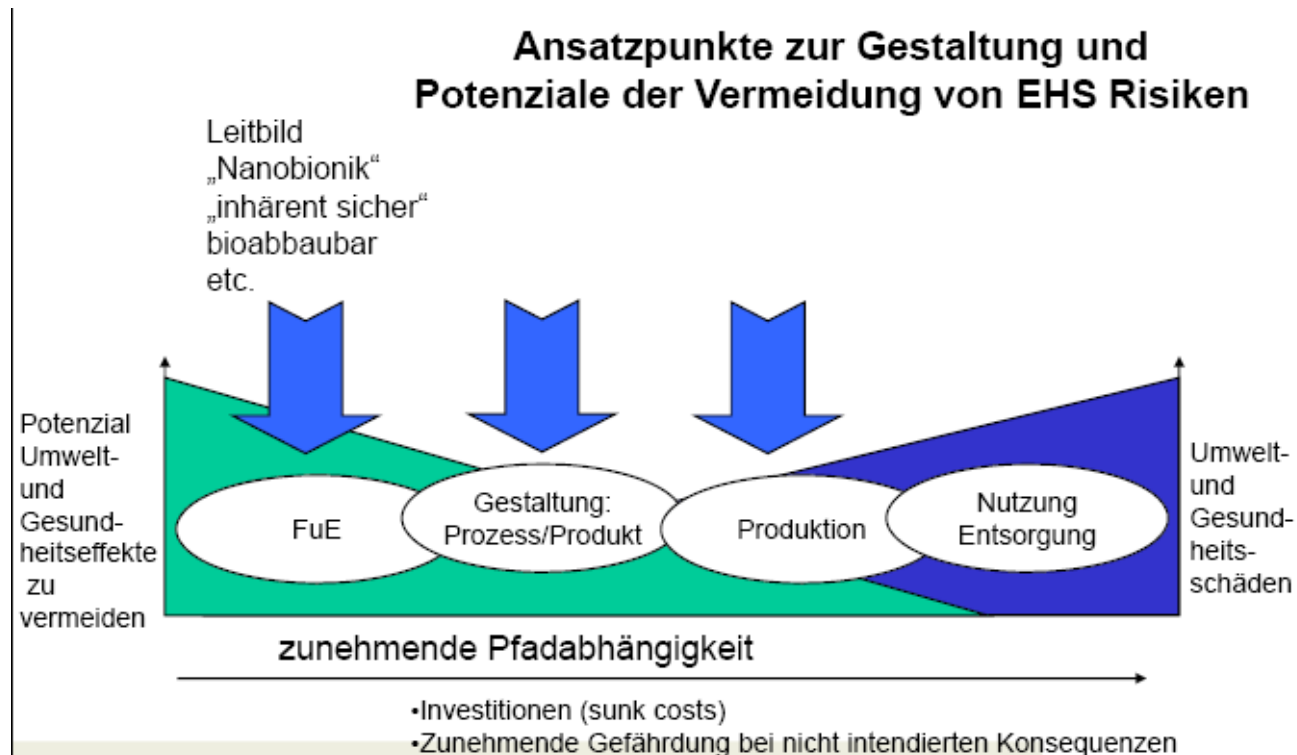
Polar stratospheric clouds (containing ice crystals)
 The polar stratospheric clouds contain ice particles that catalyze the formation of Cl atoms and lead to the destruction of ozone

Welche Argumente hätte man anführen können, ohne Wissen über die komplexen Wirkungsmodelle?

Technikfolgenabschätzung in der Zwickmühle

Wissen und Einfluss

Lösungsansätze nach dem Vorsorgeprinzip?



Wie funktioniert das Vorsorgeprinzip?

Als Form des Umgangs mit Unsicherheit

Risiko: Funktion aus Eintrittswahrscheinlichkeit/Exposition einerseits und Wirkung/Schadenshöhe andererseits ($R = E \times S$)

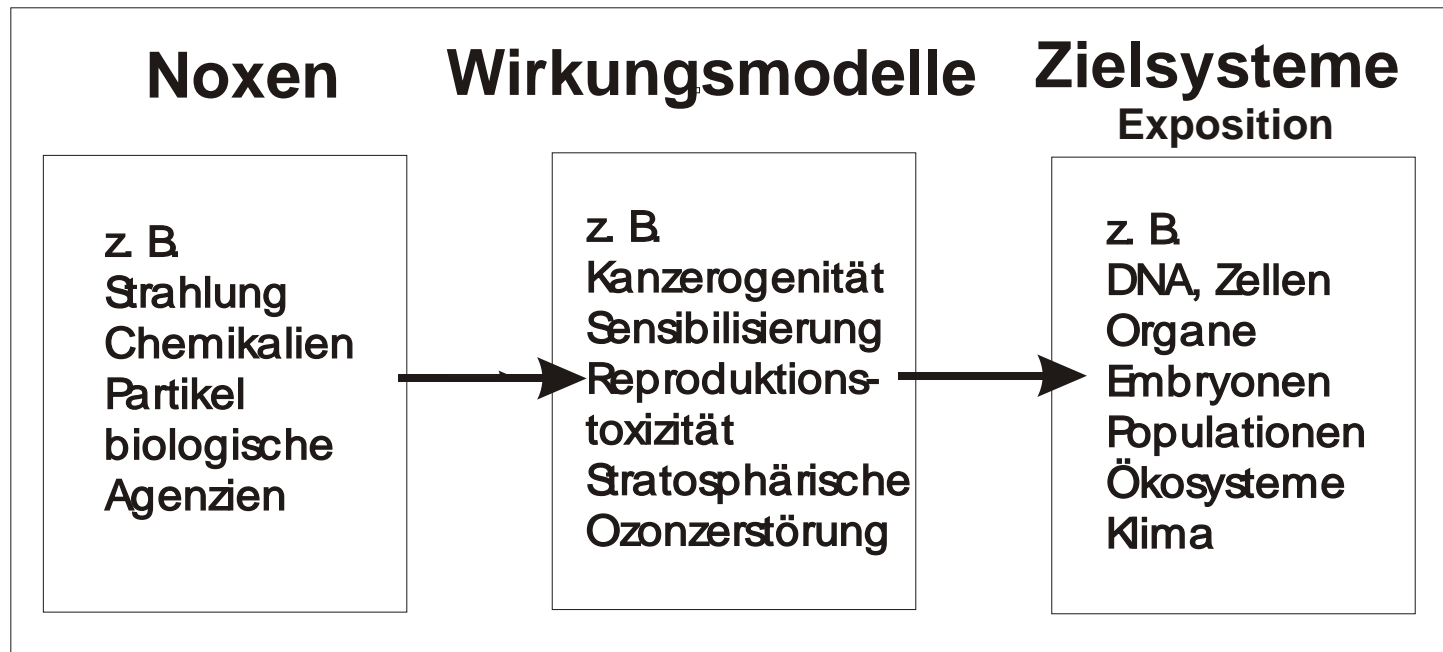
Die Höhe des einzugehenden Risikos wird dann abgewogen gegen den erwarteten Nutzen

Vorsorge ein Weg zwischen zwei Extrempositionen:

- **Völlige Handlungsfreiheit solange kein sicheres Wissen über problematische Wirkungen und Exposition vorliegt**
Versuch und Irrtum => gesellschaftliche Realexperimente
- **Kein Schritt, solange wir nicht genau wissen, was er bewirken kann**
Fehlendes Wissen allein (Neuheit) ist kein hinreichender Grund für weitreichende Vorsorgemaßnahmen => Innovationsblockade

=> ‚Gründe für Besorgnis‘ sind Voraussetzung für Vorsorgemaßnahmen

Wie erkennt man ‚Gründe für Besorgnis‘?



Alle drei Hauptelemente können in je unterschiedlichen Kombinationen unbekannt sein.
Hauptforschungsrichtung TA von links nach rechts.
Epidemiologie (trial and error) von rechts nach links
Nanotechnologien (emerging): Unbekannte Targets und (neue) Wirkungsmodelle

Leitplanken

Wo liegen Grenzen der Experimentierfreiheit?

- **Zuviel auf einmal auf's Spiel setzend**
=> es muss mit großflächigen, irreversiblen Wirkungen gerechnet werden
- **Besonders wichtige, besonders sensible Systeme betreffend**
=> Trinkwasserversorgung, Klima, Kinder,
- **Wenn etwas schief läuft, kann nicht mehr abgebrochen, gegengesteuert werden**
=> Verlust der Handlungsmöglichkeiten

Vorsorgeorientierte Leitplanken: Begrenzung der Schrittweite hinsichtlich Wirkung und Exposition

- **Fehlerfreundlichkeit, Revidierbarkeit, Begrenzbarkeit**
=> Länge der erwartbaren raum-zeitlichen
Wirkungsketten: Kriterium Eingriffstiefe

Nanokommission

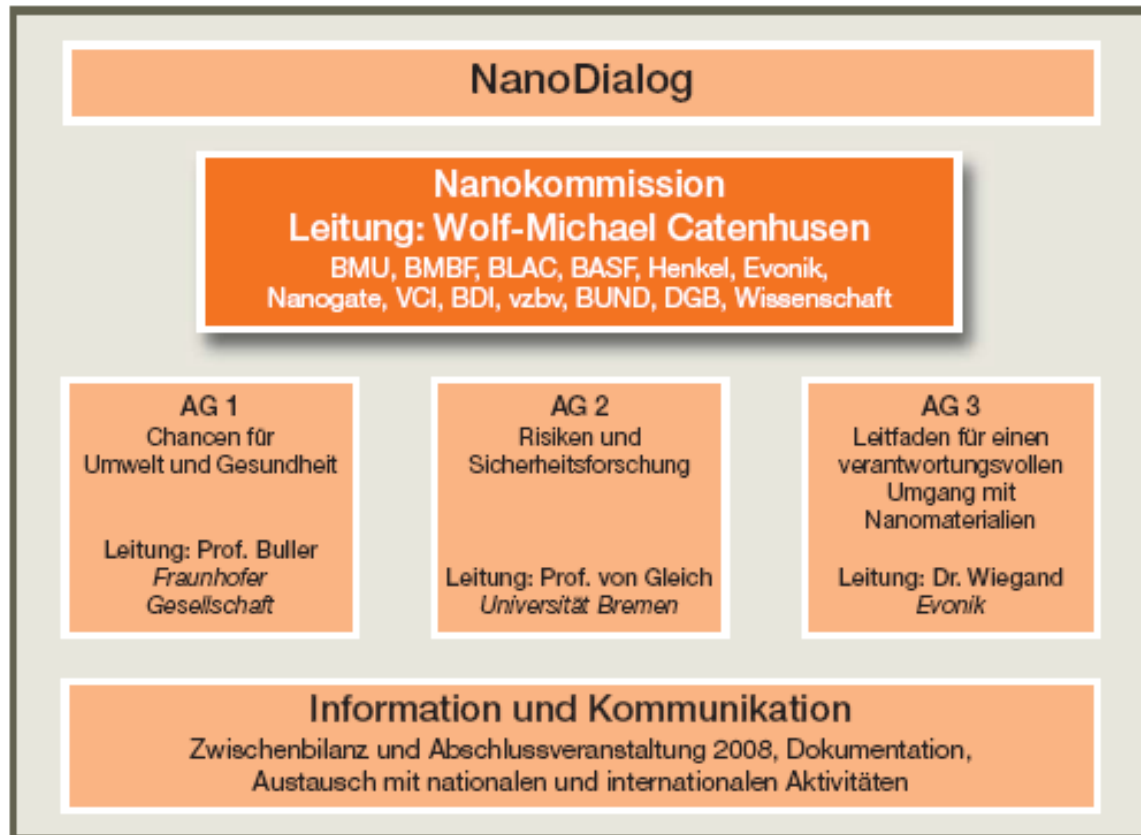
Ziele:

- **Technologieblockaden wie bei der Gentechnik vermeiden**
- **Vorsorgeprinzip realisieren, ohne Innovationen zu blockieren**
- **Vorsorgeorientiertes Risikomanagement**
- „Das BMU sieht seine Aufgabe darin, die Chancen von Nanotechnologien bzw. Nanomaterialien für den Umwelt- und Ressourcen- und Gesundheitsschutz zu erkennen und zu fördern und gleichzeitig mögliche Risiken für Gesundheit und Umwelt im Sinne des Vorsorgeprinzips zu untersuchen“.
- „Die Nanotechnologie befindet sich in einer rasanten Entwicklung. Es gibt zu möglichen Chancen und Risiken noch viele offene Fragen. Das BMU wird diese Fragen gemeinsam mit anderen Bundesressorts und Stakeholdern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verbänden im BMU-NanoDialog angehen“.

http://www.bmu.de/gesundheit_und_umwelt/nanotechnologie/kurzinfo/doc/37260.php

Nanokommission der Bundesregierung

1. Phase 2006-2008



Besorgnis- und Entlastungskriterien einer vorläufigen Risikobewertung

Ziel ist vorläufige Gruppierung von Nanomaterialien nach Gefährdungsklassen:

- 1. Gefährdung wahrscheinlich – Besorgnis hoch**
Maßnahmen zur Minimierung der Exposition oder Verzicht erforderlich
- 2. Gefährdung möglich – Besorgnis mittel**
Maßnahmen zur Verminderung der Exposition erforderlich
- 3. Gefährdung unwahrscheinlich – Besorgnis gering**
Keine über gute Arbeitsschutzpraxis / Hygienep Praxis hinausgehenden Maßnahmen erforderlich

Relevanz der Kriterien nimmt ab mit der Zunahme von wissenschaftlichem Wissen über Wirkungsmechanismen und Exposition (= Risiko)

Entlastungskriterien

- Gute **Löslichkeit** (in Wasser, in Körperflüssigkeiten,...), wenn dadurch die Nanoeigenschaften verloren gehen
- Schnelle **Abbaubarkeit** (biologisch, photokatalytisch,...) in nicht toxische Abbauprodukte
- Feste und dauerhafte **Einbindung in Matrices** (Stabilität der Matrix, Bindungsart, Verhalten end of life)
- Vorliegen fest gebundener **Aggregate** (produktionsbedingt)
- **Agglomerationsverhalten**, Bildung stabiler, großer Agglomerate (Größe, Stabilität, ...)
- **Nanostrukturierte Modifikationen an Oberflächen und Nanostrukturen**, die keine Partikel freisetzen und nicht reaktiv sind (z. B. Nanoporen, Lotuseffekt,...).

Besorgniskriterien

Hinweise auf hohe Exposition:

- **Produktionsmenge bzw. Einsatzmenge** für den Anwendungsbereich (Expositionswahrscheinlichkeit)
- **Hohe Mobilität** in Nanoform
 - in *Organismen* (Alveolengängigkeit, Persistenz in Wasser, Fett und Körperflüssigkeiten, Durchgang durch biologische Barrieren, Betrachtung des Sonderfalls von drug delivery systems)
 - in der *Umwelt* (Ferntransport, Persistenz in Wasser und Fett, Löslichkeit in Fett und Wasser, Bioverfügbarkeit, Staubigkeit)
 - *Mobilisierungspotenzial* (Huckepack, Einschleusung, Sorption, Komplexbildung)

Besorgniskriterien

Hinweise auf hohe Exposition (Fortsetzung):

- **Gezielte Freisetzung** (z. B. Grundwassersanierung, Agraranwendungen, verbrauchernahe Anwendungen, Innenraumanwendungen,...)
- **Persistenz** der Nanoeigenschaften
- **Bioakkumulation**

Besorgniskriterien

Hinweise auf problematische Wirkungen:

- Hohe **Reaktivität** (katalytisch / chemisch / biologisch)
- Problematische **Morphologie** (stabile, lange Röhren oder Fasern, aspect ratio, Fullerene, Kristallstruktur, Porosität)
- Hinweise auf problematische **Wechselwirkungen** (z. B. Huckepack)
- Hinweise auf problematische **Transformationen** (Alterung, Veränderungen der Oberflächeneigenschaften, Porosität) oder Metaboliten (z.B. Veränderungen oder Verlust des Coatings)

Besorgniskriterien

Hinweise auf Probleme im Risikomanagement:

- Schlechte **Nachweisbarkeit**
- Unklarer **Verbleib**

Nächste Schritte

- **Zuordnung von Indikatoren / Messverfahren**
- **Zuordnung von Vorsorgemaßnahmen im betrieblichen Risikomanagement**
- **Internationale Etablierung eines ‚preliminary assessment‘ als vorgeschaltetes Element der Risikoregulation (OECD Guidelines) in frühen Innovationsphasen**
- **Etablierung als Früherkennungsansatz / i. S. von Wissenschaftsfolgenabschätzung?**

Leitbildorientierte Technikgestaltung Green nanotechnologies

Komplexität des Innovationsgeschehens

**Keine Steuerung der technologischen Entwicklung aber
Einflussmöglichkeiten**

Richtungsrelevant:

- **Akteure (Partizipation, ‚open innovation‘)**
- **Anreize**
- **Regulation**
- **Öffentlichkeit / Skandale**
- **Leitbilder**

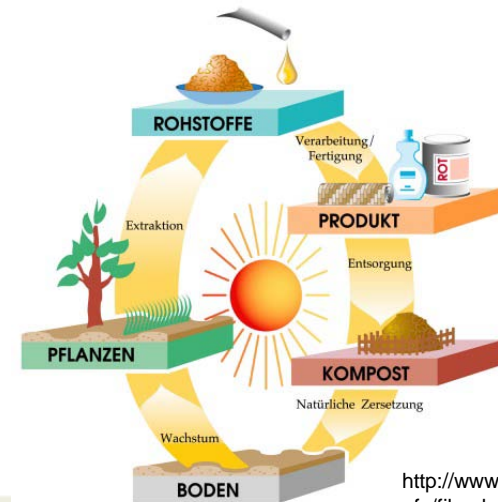
Erfolgreiche Leitbilder

- Solares Wirtschaften
 - Kreislaufwirtschaft
 - Green Chemistry
- => ‚Lernen von der Natur‘



<http://www.solarthemen.de/wordpress/wp-content/uploads/2009/04/buerstadt.jpg>

Aber auch:
‚Autogerechte Stadt‘
‚Improving human performance‘



<http://www.biowerkstoffe.info/fileadmin/baw/images/Biokunststoffe/Skreis.jpg>

Wie wirken Leitbilder?

- **Orientierung**
- **Motivation**
- **Gruppenidentität**
- **Koordinierung/Synchronisation,**
- **Komplexitätsreduktion**
- **Strukturierung der Wahrnehmung**



www.loesungs-akademie.de/images/leitbild.jpg

Voraussetzungen für ihre Wirksamkeit

- **Bildhaftigkeit und Emotionalität**
- **Bezug zu Wünschen aber auch Machbarkeit (konkrete Utopie)**
- **Resonanzfähigkeit**
- **Mittlere Abstraktionsebene**

Nachhaltigkeit wohl zu abstrakt?

Leitbilder sind keine Label

Leitplanken begrenzen den Suchraum

Leitbilder schaffen Orientierung im Suchraum

- **Irrtümer sind unvermeidbar (was gut gemeint ist, muss nicht gut werden)**
- **Auch die Ergebnisse der leitbildorientierten Gestaltung sind den üblichen Bewertungsprozessen zu unterziehen**

Von Entlastungs- und Besorgniskriterien zu Designkriterien?

- Löslichkeit
- Schnelle und vollständige Abbaubarkeit
- Keine persistenten Fasern
- Geringe Mobilität
- ...

=> ggf. Konflikt mit technischen Zielen / Funktionalitäten von nano

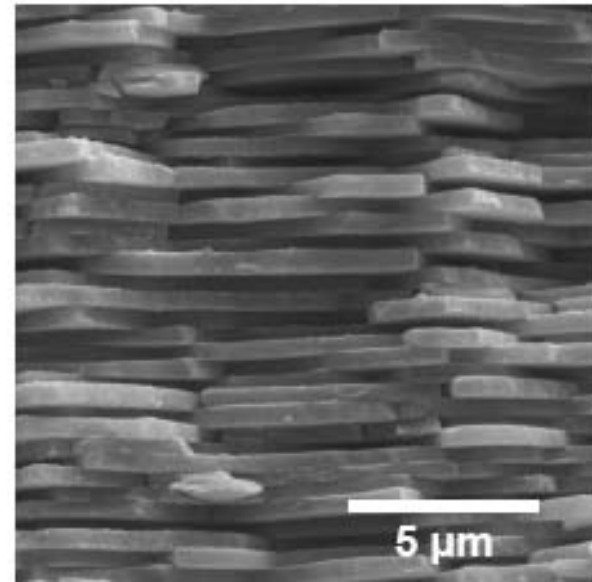
=> Ansätze zur praktischen Umsetzung im Doktorandenkolleg nanoToxCom an der Uni Bremen (Chemiker, Biologen und Ingenieure) gefördert von der Hans Böckler Stiftung

Leitbild Nanobionik

Projekt Künstliches Perlmutter



Perlmutter des Seeohrs *Haliotis laevis*



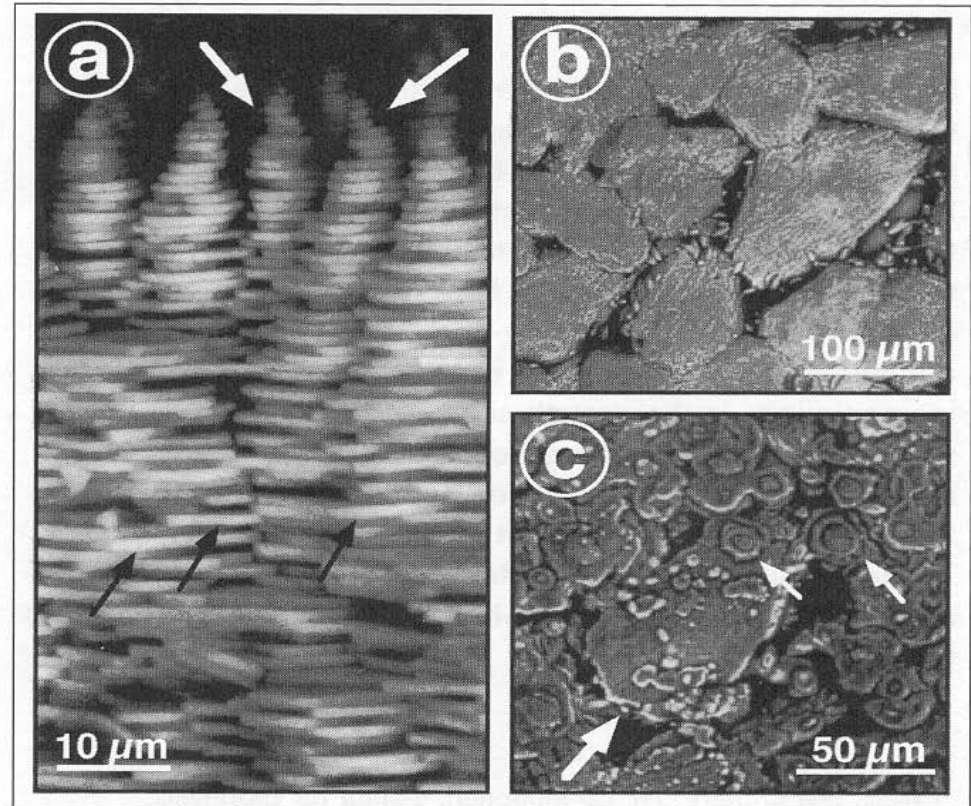
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Perlmutter

Fritz, Grathwohl, von Gleich (Uni Bremen) Fa. Remmers Lohne

Biomimetische Werkstoffherstellung: Künstliches Perlmutter

BMBF-Ideenwettbewerb
 ‚Bionik – Innovationen
 aus der Natur‘

Figure 1



SEM images of the composite material grown on a glass cover slip by the mantle epithelium of *Haliotis rufescens*. **(a)** Image of the iridescent region, after the abiotic substrate was inserted for 14 days. Clearly shown are the tablets of mature nacre (black arrows) and the stacks of coins of growing nacre (white arrows). **(b)** Image of the initial deposition of calcite polycrystalline prisms formed after five days of insertion. **(c)** Nucleation of aragonite crystals (small arrows) on top of the calcite prisms (large arrow). Reproduced with permission from [27].

Nächstes Paradigma der Fertigung?

1. **Schneiden aus dem Vollen (Werkstoffblock)**
2. **Homogenisieren bzw. Schmelzen und dann Gießen, Pressen, Schmieden**
3. **Hierarchisch strukturierte Materialien wie Perlmutter, Knochen, Zähne, Spinnenseide einfach ‚Wachsen lassen‘
(Templat gesteuerte Selbstorganisation)**

Aspekte der Nachhaltigkeitsbewertung einer Perlmutter-Wandfarbe

Positiv:

- **Stoffstrom: Einbettung in natürliche Kreisläufe möglich Kalziumkarbonat (Qualität und Quantität)**
- **„Physiologische“ Herstellungsbedingungen**
- **Nutzung von Selbstorganisationsprinzipien**
- **Keine Innenraumbelastung durch organische Lösemittel**
- **Kein Rückgriff auf Erdölderivate**



www.der-wagner.de/uploads/pics/gala11.jpg



www.kunsthallebasel.ch/bilder/00000460

Aspekte einer Nachhaltigkeitsbewertung

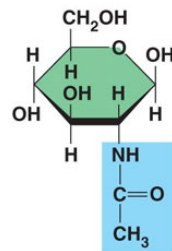
Kritisch:

- Kein Recycling
- Herstellung der Template?

=> Extraktion keine ernst zu nehmende Perspektive

=> Gentechnik oder synthetische Chemie (Blockcopolymere)?

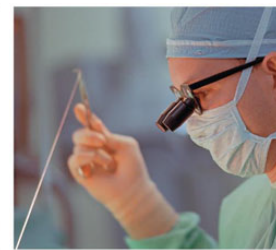
=> Chitin als viel versprechende Alternative



(a) The structure of the chitin monomer.



(b) Chitin forms the exoskeleton of arthropods.



(c) Chitin is used to make a strong and flexible surgical thread.

<http://www.bio.miami.edu/~cmallery/150/chemistry/c8.5x10.chitin.jpg>

Fazit

- **Nanotechnologien eröffnen hoch interessante Möglichkeiten**
- **Was Nanotechnologien sein werden, ist noch nicht entschieden**
- **Es gibt zahlreiche *Einflussmöglichkeiten* auf den Innovationsprozess, die genutzt werden sollten**
- **Methodische Unterstützung bieten:**
 - => ‚vorläufige Risikoabschätzung‘ (Besorgniskriterien)**
 - => Leitbildentwicklung**

Fazit

- **Nanodialog eröffnet besonders große *Chancen* aufgrund:**
 - **Verständigung in früher Phase**
 - **Noch keine verhärteten Positionen**
- **Leitbildorientierte *Gestaltungsperspektive unterentwickelt* im Vergleich zu anderen Elementen des Risikomanagements.**
Ansatzpunkte:
 - **staatliche Forschungs-, Förderungspolitik**
 - **betriebliche F&E: ‚open innovation‘**

Teams und Quellen

- Steinfeldt, M.; Gleich, A. von; Petschow, U.; Pade, C.; Sprenger, R.-U.: Entlastungseffekte für die Umwelt durch nanotechnische Verfahren und Produkte, UBA-Texte, 2010 Dessau.
- Gleich, A. von; Steinfeldt, M.; Petschow, U.(2008): A suggested three-tiered approach to assessing the implications of nanotechnology and influencing its development. In: Journal of Cleaner Production, 16 (8), p.899-909.
- Steinfeldt, M.; Gleich, A.von; Petschow, U.; Haum, R. (2007): Nanotechnologies, Hazards and Resource Efficiency. Springer Heidelberg.
- Gleich, A. von; Pade, C.; Petschow, U.; Pissarskoi, E.: Bionik – Aktuelle Trends und zukünftige Potenziale – Endbericht des Projekts ‚Potenziale und Trends der Bionik, gefördert vom BMBF im Rahmen der ‚Innovations- und Technikanalyse‘, Berlin/Bremen 2007
- Grathwohl, G.; Fritz, M.; von Gleich,A.; Babka, H.W.: Perlmutter – Vorbild für nachhaltig zukunftsfähige Werkstoffe, Endbericht des Verbundprojekts gefördert im Rahmen des BMBF-Wettbewerbs ‚Bionik – Innovationen aus der Natur‘ Bremen 2007
- Gleich, A. von: Chemiezukünfte - Leitbilder und Leitplanken am Beispiel Bionik / Biomimetik und Nanotechnologie, in Angrick, M.; Held, M.; Kümmerer, K. (Hrsg.): Nachhaltige Chemie, Metropolis Verlag Marburg 2006

Bericht der Nanokommission:

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nanokomm_abschlussbericht_2008.pdf

NanoToxCom: <http://www.uft.uni-bremen.de/nanotoxcom/index.htm>