



# Chancen und Risiken der Nanotechnologie

Henning Wriedt  
Kooperationsstelle Hamburg  
Projekt NanoCap  
[www.nanocap.eu](http://www.nanocap.eu)  
[h.wriedt@kooperationsstelle-hh.de](mailto:h.wriedt@kooperationsstelle-hh.de)

Weiterbildungsstudium Arbeitswissenschaft  
16. / 17. Januar 2008



Kooperationsstelle  
Hamburg

# Überblick



**Begriffe und Definitionen**



**Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen**



**Risiken für Gesundheit und Umwelt**



**Vorsorge**



**Regulierung**

# Nanotechnologie – Begriffe und Definitionen

## Begriffsbestimmung

„Querschnitts-Technologien“,

die die

**gezielte Gestaltung von Materie auf der Ebene einzelner Moleküle oder Atome ermöglichen**

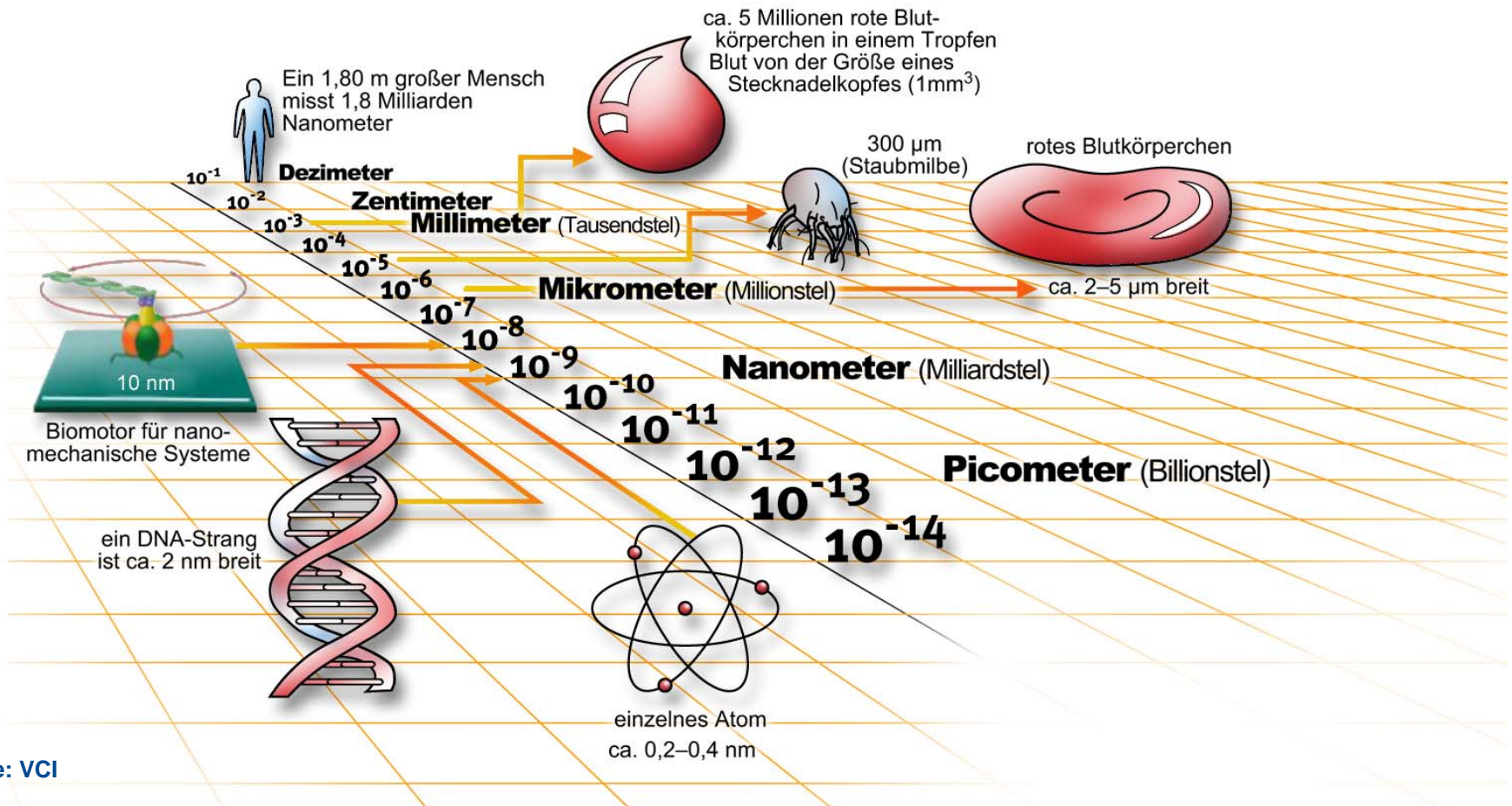
*„Der Begriff der Nanotechnologien umfasst verschiedene Verfahren zur Untersuchung und zur gezielten Herstellung und Anwendung von Prozessen, Strukturen, Systemen, oder molekularen Materialien, die in mindestens einer Dimension typischer Weise unterhalb von 100 Nanometern liegen.“ (Bericht der NanoKommission)*

# Nanotechnologie – Begriffe und Definitionen

## Begriffsbestimmung

- ▶ Oberbegriff für fortgeschrittene Wissenschafts- und Technikrichtungen, die Analyse und Manipulation im Nanometer-Bereich zulassen, d.h. in der Größenordnung komplexer Moleküle
- ▶ Methoden und Verfahren entstammen getrennten wissenschaftlichen Disziplinen und Technikfeldern:  
Physik, Chemie, Ingenieurwissenschaften, Biologie, die beim Übergang in den Nanometerbereich überlappen
- ▶ Abgrenzung zu Nachbargebieten nicht trennscharf:  
z.B. Mikroelektronik, Biotechnologie
- ▶ nicht eine Technologie oder Gruppe von Technologien im engeren Sinne; vielmehr ein forschungspolitisch oder forschungsorganisatorisch geprägter Begriff
- ▶ nanoskalige Systeme: Systeme, die in mindestens einer Dimension einen Größenbereich zwischen 1 nm und 100 nm aufweisen und bei denen aus dieser Miniaturisierung neue Effekte und Eigenschaften resultieren und nutzbar gemacht werden

# Nanowelt im Größenvergleich



Quelle: VCI

# Nanotechnologie – Begriffe und Definitionen

## Nanotechnologie

### Nanotechnologien

Werkzeuge

Herstellungsverfahren

Anwendungsbereiche

- Elektronik und Halbleiter
- Chemikalien
- Energie
- Textilien
- Kosmetika
- Lebensmittel
- Pharmazeutika, Medizin
- Transport (Fahrzeuge, Luft- und Raumfahrt)
- Druck und Verpackungen

### Nanomaterialien

Chemische Zusammensetzung

Größe und Form

- Nanopartikel
- Nanokapseln
- Nanofasern, Nanodrähte
- Nanoröhren (nanotubes)
- Nanoplättchen
- Nanoschichten
- Fullerene
- Dendrimere
- Quantenpunkte (quantum dots)

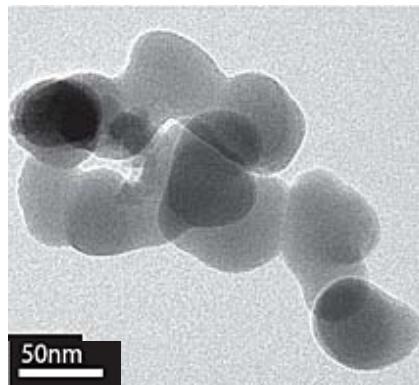
# Nanomaterialien – Grundstrukturen

mind. eine Raumdimension im Nanometer-Bereich (< 100 nm):

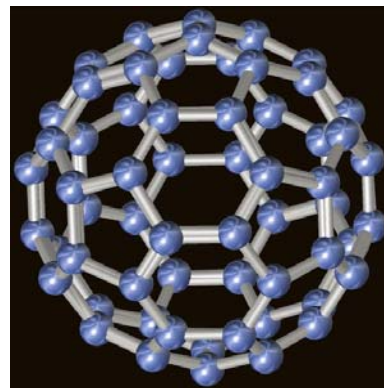
➔ 3 Nano-Dimensionen: Nanopartikel

➔ 2 Nano-Dimensionen: Nanodrähte, Nanoröhren

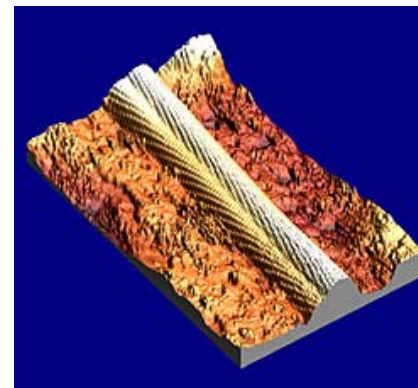
➔ 1 Nano-Dimension: Nanoplättchen, Nanoschichten



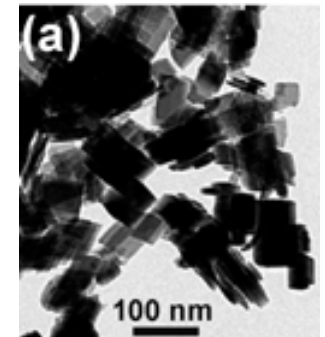
Agglomerate aus  
Siliziumdioxid-  
Nanopartikeln



C<sub>60</sub>-Fullerene  
(buckyballs)



Kohlenstoff-Nanoröhren  
Carbon nanotubes



Wolframoxid-  
Nanopellets

# Nanomaterialien – Eigenschaften

## wichtige Parameter, die Eigenschaften / Funktionalitäten von Nanomaterialien bestimmen

- Größe
- Form, Gestalt
- Kristallstruktur
- Porosität
- Größe der Oberfläche
- chemische Zusammensetzung
- Oberflächenbeschichtung
- Oberflächenchemie, Oberflächenladung
- Löslichkeit
- Aggregationsverhalten
- Anlagerungsverhalten (Sorption)
- Reinheit (Verunreinigungen aus der Herstellung)



# Besonderheiten von Nanomaterialien

## Extrem hohes Verhältnis Oberfläche zu Masse

- hoher Anteil der Moleküle eines Nanoteilchens befindet sich an der Teilchenoberfläche:  
veränderte physikalische Eigenschaften und höhere chemische Reaktivität im Vergleich zu größeren Teilchen einer chemisch identischen Substanz

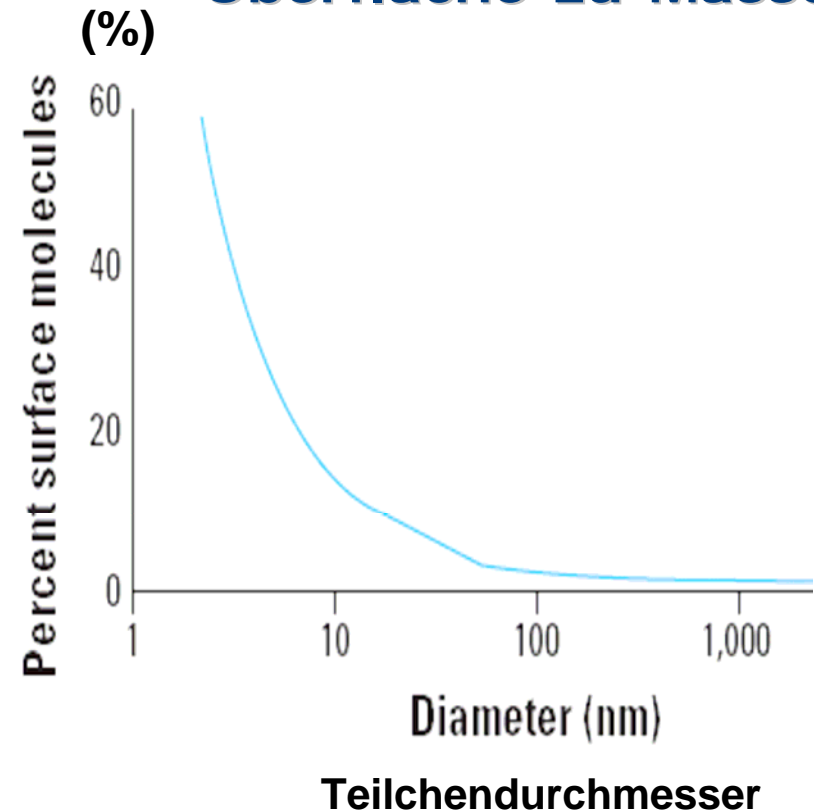
## quantenmechanische Effekte

- diskrete, d.h. nicht kontinuierliche Natur der Materie tritt in Erscheinung: verändertes Verhalten der Elektronen im „Festkörper Nanomaterial“ im Vergleich zu Verhalten in größeren Teilchen einer chemisch identischen Substanz

## Selbstorganisation (self-assembly)

- Selbstorganisation von Atomen oder Molekülen zu geordneten oder komplexen Strukturen (z.B. analog zur DNA-Doppelhelix) – Nachahmung biologischer Systeme

## Oberfläche-zu-Masse-Verhältnis

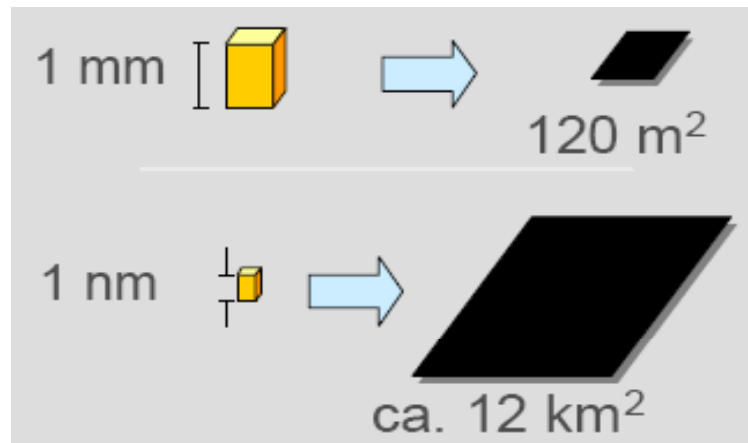


**Figure 2.** Surface molecules as a function of particle size. Surface molecules increase exponentially when particle size decreases  $< 100$  nm, reflecting the importance of surface area for increased chemical and biologic activity of NSPs. The increased biologic activity can be positive and desirable (e.g., antioxidant activity, carrier capacity for therapeutics, penetration of cellular barriers), negative and undesirable (e.g., toxicity, induction of oxidative stress or of cellular dysfunction), or a mix of both. Figure courtesy of H. Fissan (personal communication).

**Quelle: Oberdörster *et al.*, EHP 2005**

## Oberfläche-zu-Masse-Verhältnis

 Oberfläche von 50 kg Siliziumdioxid (Quarzsand), das aus einzelnen Würfeln besteht



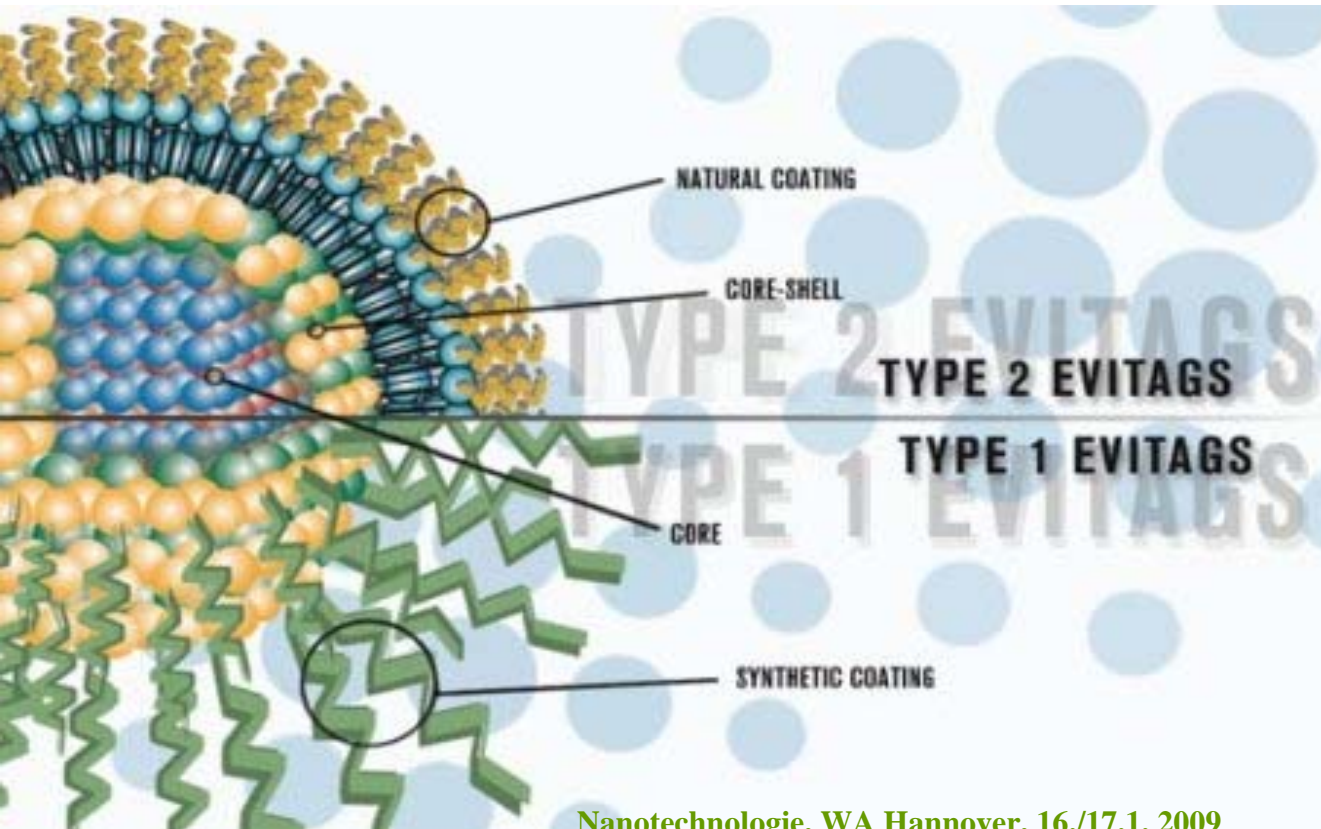
# Nanomaterialien – Aufbau

## Nanomaterialien bestehen häufig aus mehreren Bestandteilen

- dem eigentlichen **Kern**, der die Bezeichnung des Materials entsprechend der chemischen Zusammensetzung bestimmt
- einer **Hülle** um den Kern:
  - beabsichtigt, wie bei Quantenpunkten
  - unbeabsichtigt, wie die Eisenoxidschicht um Eisen-Nanopartikel
- einer **oberflächenaktiven Beschichtung (coating)**, häufig aus organischen Molekülen, zur Verhinderung von Agglomeration und Aggregation
- geringen Mengen an **Dotierstoffen** (z.B. Schwermetallatomen) zur Veränderung der elektrischen und chemischen Eigenschaften

# Quantenpunkte – Quantum dots

- komplex zusammengesetzt
- $< 50$  nm



# Erzeugung von Nanostrukturen

## „Von unten nach oben“ (bottom up)

Aufbau von komplexen Strukturen aus einzelnen Atomen oder Molekülen

### ■ Verfahren

Sol-Gel-Prozess

Gasphasensynthese

Chemische oder physikalische Gasphasenabscheidung (CVD, PVD)

## „Von oben nach unten“ (top down)

Erzeugung nanoskaliger Strukturen durch Verkleinerung bzw. durch ultrapräzise Materialbearbeitung

### ■ Verfahren

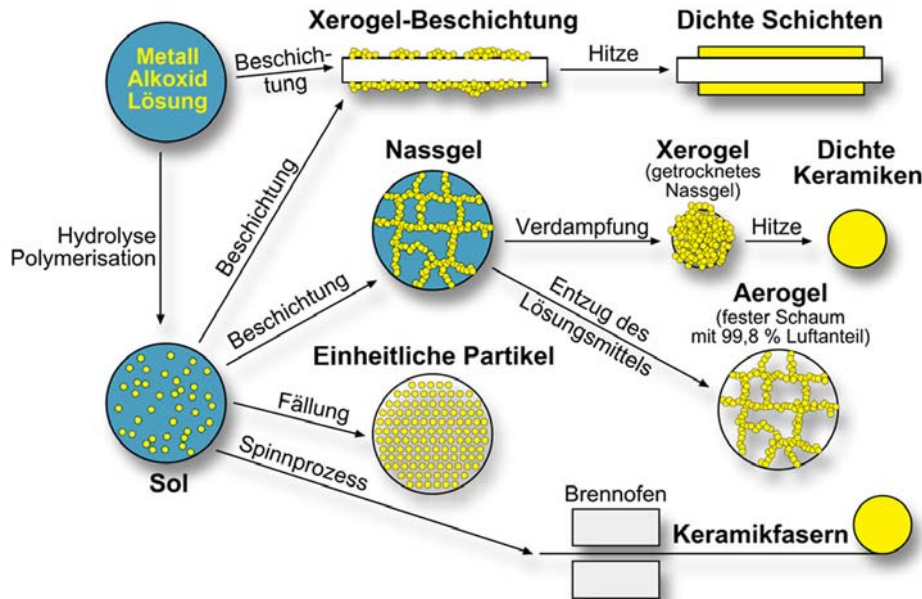
Zerkleinerung von Pulvern mit Kugelmøhlen

Strukturierung mit Stempeltechniken

Strukturierung mit Elektronenstrahlen, Ionenstrahlen oder kurzwelliger UV-Strahlung

# Erzeugung von Nanostrukturen

## Erzeugung von Nanopartikeln im Sol-Gel-Verfahren



## Sol-Gel-Reaktor

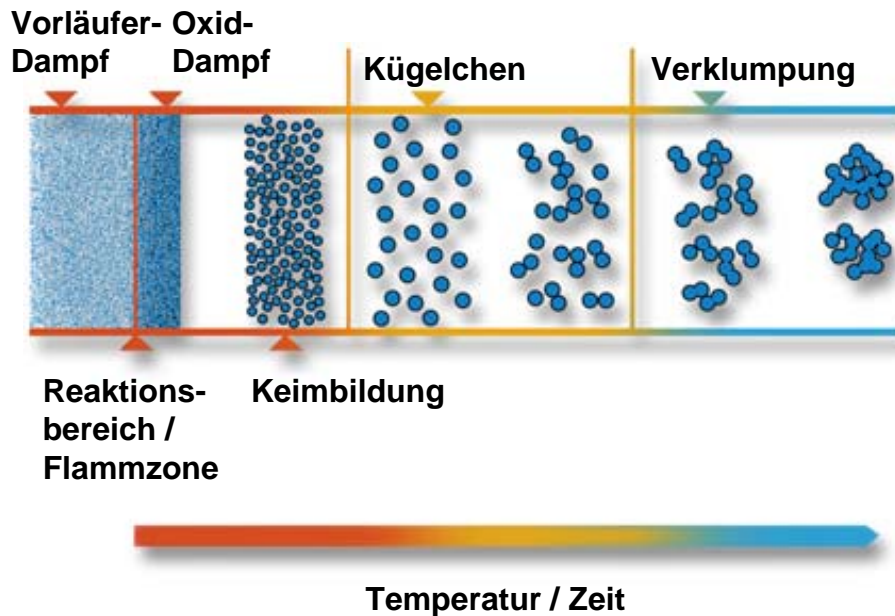


[Quelle: VCI]

# Erzeugung von Nanostrukturen

## Gasphasensynthese

### Nukleation      Wachstum      Aggregation



## Gasphasenreaktor



[Quelle: VCI]



# Überblick



Begriffe und Definitionen



**Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen**



Risiken für Gesundheit und Umwelt



Vorsorge



Regulierung

# Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen

## Anwendungsbereiche

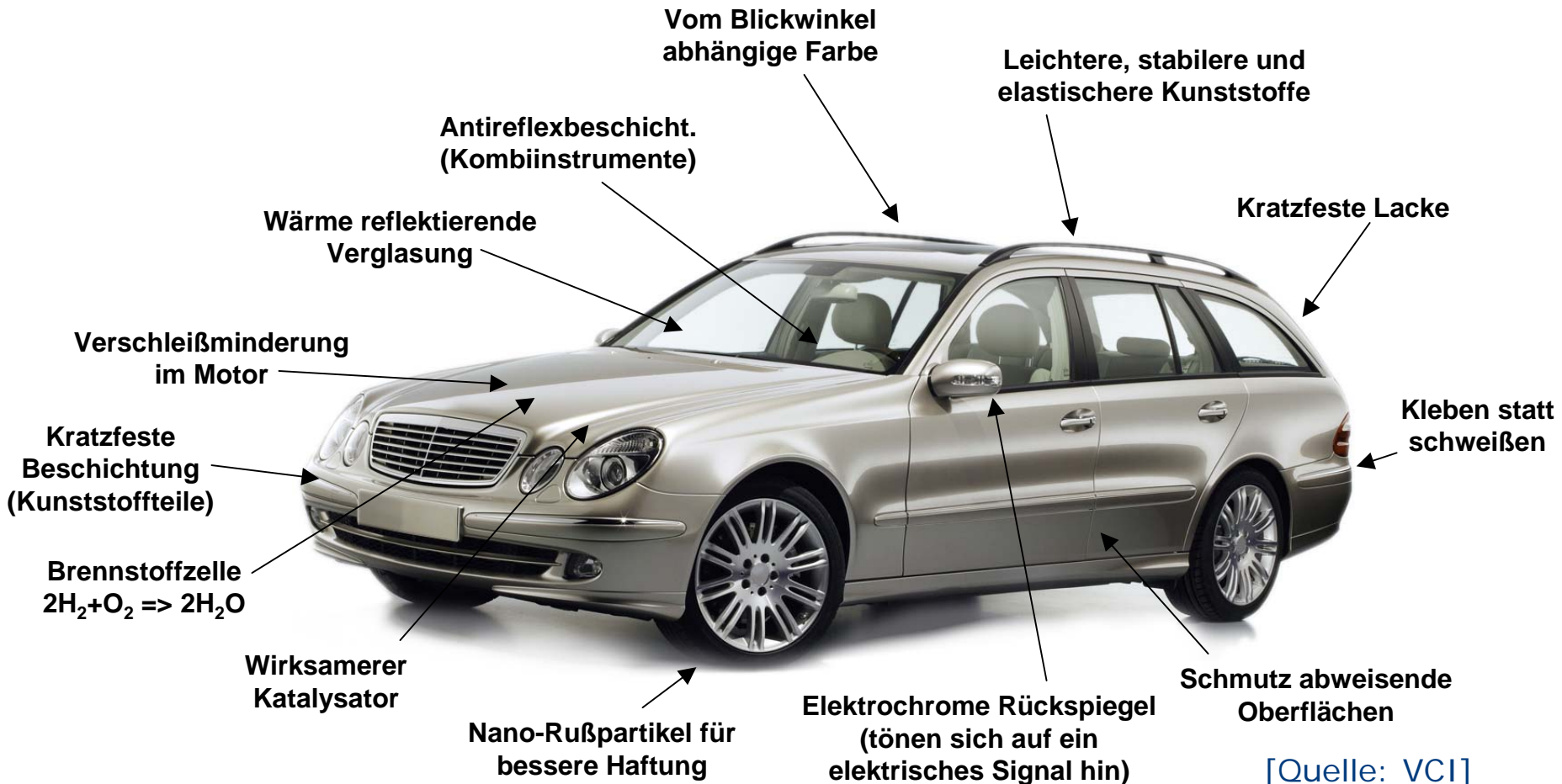
- **Elektronik und Halbleiter**  
Prozessoren, Speicher, Displays, Batterien, Sensoren
- **Chemikalien**  
Katalysatoren, Membranen und Filtermaterialien, Beschichtungen und Farben, Schleifmittel, Schmiermittel, Composite
- **Energie**  
Energieeinsparung, Energieumwandlung, Energiespeicherung
- **Textilien**  
anti-verschmutzend, anti-statisch, knitterfrei, anti-bakteriell, UV-Schutz, feuchtigkeitsregulierend
- **Lebensmittel**  
Verpackungen, Verarbeitung, Zusatzstoffe
- **Pharmazeutika, Medizin**  
gezielter Wirkstofftransport (targeted drug delivery), Diagnostik, Material für Implantate

# Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen

## Anwendungen

- nanostrukturierte **Oberflächen**  
Lacke, „selbstreinigende“ Oberflächen, Anti-Reflex-Beschichtungen, Erhöhung der Verschleißfestigkeit
- Veränderung von **Materialeigenschaften** (Einbringen von nanoskaligen Teilchen in Metalle oder Kunststoffe)  
Leichtbau, Hochtemperaturanwendungen, Verformbarkeit von Keramiken
- **Energietechnik**  
Erhöhung des Speichervermögens für Wasserstoff, Aerogele zur Wärmedämmung, Membranen für Superkondensatoren zur Energiespeicherung, billigere und bessere Sonnen- und Brennstoffzellen
- **Katalysatoren**, oberflächenaktive **Membranen**, nanoporöse **Filter**
- **Nanobiotechnologie / Nanomedizin**  
Membranen für Blutreinigung, biokompatible Implantate  
selektive Krebstherapien, gezielter Wirkstofftransport, diagnostische Marker

# Einsatzmöglichkeiten von Nanomaterialien



[Quelle: VCI]

# Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen

## Anwendungen

- **Überblicke mit zahlreichen Beispielen** in der **Schriftenreihe** der Aktionslinie **Hessen-Nanotech**, u.a. zu
  - Umwelttechnologie
  - Nanomedizin
  - Automobilindustrie
  - Optik-Industrie
  - Architektur und Bauwesen
  - Energiesektor
  - Werkstoffsektor

[www.hessen-nanotech.de](http://www.hessen-nanotech.de)

- **Datenbank mit über 800 Verbraucherprodukten auf Nanotechnologiebasis** (US-Markt):

[www.nanotechproject.org/inventories/](http://www.nanotechproject.org/inventories/)

# Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen



## Potentiale

### ▶ Nachhaltigkeit

- effizientere Energieumwandlung und –speicherung (Sonnenenergie, Wasserstoff-Technologie)
- bessere Wärmedämmung
- geringerer Ressourcenverbrauch

### ▶ Umweltschutz

- bessere Reinigungstechniken / sauberes Trinkwasser
- Reparatur von Umweltschäden
- bessere Nachweismöglichkeiten von Schadstoffen

### ▶ Gesundheit

- neue bzw. bessere Therapiemöglichkeiten

### ▶ Information und Kommunikation

# Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen

## Potentiale

### Übersichten zu den Themen

#### ■ Energie

Sonnenenergie (Photovoltaik, Speicherung, thermische Energie)  
Energieeinsparung (Wärmedämmung, Beleuchtung)  
Brennstoffzellen auf Wasserstoffbasis  
wieder aufladbare Batterien

#### ■ Umweltschutz

Beseitigung von Umweltschäden (Boden und Grundwasser)  
Prävention von Umweltschäden  
Sensoren für Schadstoffe

#### ■ Medizin

Diagnostik (Biosensoren, Lab-On-A-Chip, bildgebende Verfahren)  
Therapie (Wirkstoffe: gezielter Transport, externe Aktivierung)  
regenerative Medizin (künstliches Gewebe, Implantatmaterial)

nachlesbar unter:

[www.nanocap.eu](http://www.nanocap.eu) (Bereich „Output“)

# Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen

## Prognosen

### 5 Generationen von Produkten und Produktionsprozessen

- **passive Nanostrukturen** (1. Generation)  
Beschichtungen, Nanopartikel, nanostrukturierte Metalle, Polymere, Keramiken
- **aktive Nanostrukturen** (2. Generation)  
3D-Transistoren, Verstärker, gezielter Wirkstofftransport, Aktuatoren, adaptive Strukturen
- **Systeme von Nanosystemen** (3. Generation)  
3D-Netzwerke und hierarchische Architekturen, Robotik, evolutionäre Biosysteme
- **molekulare Nanosysteme** (4. Generation)  
molekulare Aggregate „by design“, neu entstehende Funktionen
- **konvergierende Technologien** (5. Generation)  
Nano-Bio-Info auf der Nanoskala, kognitive Technologien, große komplexe Systeme auf der Nanoskala



# Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen

## Realisierbarkeit von Potentialen

zu unterscheiden zwischen  
**Was ist technisch machbar?**  
und  
**Was ist marktfähig?**

### Realisierbarkeit wird durch Vielzahl von Faktoren beeinflusst

Kosten

Verfügbarkeit von Einsatzstoffen und Vorprodukten

Entwicklungszeit für Marktreife

Ausmaß der Nachfrage

Alternativprodukte für vergleichbare Funktionalität

mögliche Nebenwirkungen

gesellschaftliche Akzeptanz

...

# Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen

## Realisierung von Potentialen

**„Euphorie war gestern.**

Die Nanotechnologie hat noch einen langen Weg vor sich.“

[Frankfurter Allgemeine Zeitung, 28. 11. 2007]

**„Die Aufnahme von Technologien durch den Markt kann zwanzig bis dreißig Jahre dauern.“**

[The Nanotechnology Opportunity Report, Juni 2008]

### **Die fünf Stufen des „Hype-Zyklus“ neuer Technologien:**

- der Technologie-Auslöser
- der Gipfel übersteigter Erwartungen
- das Tal der Desillusionierung
- der Anstieg der Erleuchtung
- das Plateau der Produktivität

[zitiert nach: The Nanotechnology Opportunity Report, Juni 2008]

# Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen

## Fragestellungen

Folgende Fragestellungen sind **nicht (unbedingt) nanospezifisch** – sie können sich **auch** für **andere neue Technologien** stellen!

- **Risiken für Gesundheit und Umwelt?**
- **ökonomische Fragen**
  - ökonomische Auswirkungen
  - Behinderungen durch Patentrechte
- **ethische Fragen**
  - nicht mehr wahrnehmbare Kontroll- u. Überwachungstechniken
  - Eingriffe in die „Natur des Menschen –  
Erweiterung biologischer Fähigkeiten
- **Verteilungsgerechtigkeit**
  - Vergrößerung der technologischen Kluft
    - zwischen reichen und armen Staaten
    - innerhalb der Gesellschaft
- **gesellschaftlicher Einfluss auf die Richtung der Technologieentwicklung**

# Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen

## Zwischenergebnisse

- Schwierigkeit realistischer Abschätzungen der Potentiale
- Vielfalt von
  - Nanotechnologien
  - Nanomaterialien
  - Anwendungenerfordert differenzierte Antworten
- Vielzahl von Fragestellungen bezüglich Auswirkungen

## Eingrenzung des Themas (Teil III)

- Auswirkungen auf **Gesundheit und Umwelt**
- Betrachtung von **Nanomaterialien**
- Eingrenzung auf **passive Nanomaterialien**

# Überblick



Begriffe und Definitionen



Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen



**Risiken für Gesundheit und Umwelt**



Vorsorge



Regulierung

# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## Denkbare Gefährdungen

- ▶ **Beschäftigte und Verbraucher**  
bei Kontakt mit Nanomaterialien
- ▶ **PatientInnen**  
durch Nebenwirkungen bei medizinischen Anwendungen
- ▶ **Umwelt**  
bei Eintrag von Nanomaterialien in Wasser, Boden oder Luft

**Gefahr**  
(Stoffeigenschaft)

**Belastung**  
(Exposition)

**Gefährdung**  
(Risiko)

# Risiken für Gesundheit und Umwelt



## Risikoabschätzung bei begrenztem Wissen

### ■ „übliche“ Risikobetrachtung

bekannte Wirkungen (Stoffeigenschaften)

bekannte Exposition

- ▶ Ausmaß des Risikos
- ▶ Umfang der Schutzmaßnahmen

(Beispiel: Gefährdungsbeurteilung gemäß Gefahrstoffverordnung)

### ■ Risikobetrachtung für Nanomaterialien

Hinweise auf schädigende Wirkungen,  
aber kein gesichertes Wissen

Messbarkeit der Exposition gegenwärtig nur begrenzt gegeben

- ▶ **mögliches** Risiko
- ▶ Schutzmaßnahmen im Rahmen des **Vorsorgeprinzips**

# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## Eingrenzung der Risikobetrachtung für Nanomaterialien

Ohne Exposition auch kein Risiko –  
deshalb Eingrenzung der weiteren Diskussion über  
mögliche **Risiken für Gesundheit und Umwelt** auf

### **freie, unlösliche (oder schwer lösliche) Nanomaterialien**

**Nicht** betrachtet zu werden brauchen deshalb

- ▶ Nanomaterialien, die in eine Matrix **eingebunden** sind  
(so lange sie in der Matrix verbleiben)
- ▶ **lösliche** Nanomaterialien  
(weil gelöste Nanomaterialien wieder „bekannte“ Chemikalien sind)

## Ausweitung der Risikobetrachtung

Expositionen mit freien, beständigen Nanomaterialien können auf allen  
Stufen des „Lebenswegs“ (von der Herstellung bis zur Abfallphase)  
auftreten –

deshalb ist ihr **gesamter Lebensweg** zu betrachten



# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## Gesundheitsrisiken durch Nanomaterialien – ein neues Problem?

### Ultrafeine Teilchen sind durchaus kein neues Phänomen

- ▶ natürlich vorkommende ultrafeine Teilchen: Proteine, Viren, natürlich erzeugte Ultrafeinstäube (Erosion, Waldbrände, Vulkanaschen)
- ▶ durch menschliche Aktivitäten als Nebenprodukte erzeugte ultrafeine Teilchen: Verbrennungsprozesse (Haushalt, Landwirtschaft, Industrie), thermische Prozesse (Metallurgie, Schweißen), Boden- und Materialbearbeitung, Verkehr (Emissionen, Abrieb)

### ... und selbst die gezielte Herstellung von Nanomaterialien (engineered nanomaterials) wird seit Jahrzehnten betrieben

- ▶ Industrieruße (carbon black), Siliziumdioxid (silica), ultrafeine Pigmente (Titandioxid, Zinkoxid)

# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## Konzentration ultrafeiner Aerosole an Arbeitsplätzen

Verfahren / Bereich	gemessene Konzentration [cm <sup>-3</sup> ]
Außenluft, Büro	bis ca. 10.000
Metallschleifen	bis 130.000
Weichlöten	bis 400.000
Plasmabrennschneiden	bis 500.000
Bäckerei	bis 640.000
Flughafenvorfeld	bis 700.000
Hartlöten	54.000 bis 3.500.000
Schweißen	100.000 bis 40.000.000

**Messbereich: 14 – 673 nm**

**Quelle: Möhlmann, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 65 (2005), 469 – 471**

# Risiken für Gesundheit und Umwelt



## Probleme bei Expositionsmessungen

### ■ Nachweisgrenze

Ist das Messverfahren empfindlich genug, um kritische Expositionshöhen nachweisen zu können?

### ■ Überschätzung der Exposition

Entstehen zusätzlicher ultrafeiner Stäube oder Aerosole im untersuchten Prozess, die bei der Messung als Nanomaterialien gedeutet werden

### ■ Unterschätzung der Exposition

Konzentration der Nanomaterialien deutlich geringer als Hintergrundbelastung  
Agglomeration der Nanomaterialien

# Risiken für Gesundheit und Umwelt



## **Grenzen der Messtechnik** für Luftmessungen

- **verfügbare Standard-Messtechnik** für
  - ▶ Teilchenanzahl (Teilchenmasse)
  - ▶ Größenverteilung
  - ▶ (Oberflächengröße berechenbar)
- **verfügbare Messtechnik mit aufwändiger Analytik** für
  - ▶ Art der Teilchen (chemische Zusammensetzung)
  - ▶ Gestalt der Teilchen (Elektronenmikroskopie)
- **Wünsche an Messgeräte**
  - ▶ unmittelbare Verfügbarkeit der Ergebnisse
  - ▶ personenbezogene Messungen
  - ▶ geringe Kosten

# Risiken für Gesundheit und Umwelt



## **Erkenntnisstand** aus Arbeitsplatzmessungen

- **Exposition ist möglich**, auch mit Primärteilchen  
überwiegend bei Produktion und Handhabung von Pulvern  
keine Information über Konsumerprodukte
- **Anzahlkonzentration signifikant niedriger**  
als Hintergrundbelastung mit ultrafeinen Partikeln  
überwiegend Agglomerate und Aggregate
- **konventionelle Schutzmaßnahmen scheinen wirksam zu sein**  
(optimierte lokale Absaugung)
- **Problem: Abgrenzung zu Hintergrundbelastung**  
Unterscheidung Nanopartikel und ultrafeine Partikel  
chemische Identifizierung

[Quelle: M. Berges (BGIA), Vortrag 4.12.2008]

# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## Hinweise auf Gesundheitsschäden durch Erfahrungen mit Ultrafeinstäuben bei Menschen

### Studien über Gesundheitsschäden durch Umweltbelastungen

- ▶ Atemwegsschädigungen
- ▶ Herz-Kreislauf-Erkrankungen

### Berichte über Gesundheitsschäden an Arbeitsplätzen

- ▶ Atemwegsschädigungen (Schweißbrauche)  
und Entzündungsprozesse (Metalldämpfe → Metallrauchfieber;  
thermische Zersetzungsprodukte von Kunststoffen  
→ polymer fever)

# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## Hinweise auf Gesundheitsschäden durch Tierversuche mit Nanomaterialien

### Inhalationsstudien an Tieren

- ▶ Atemwegsschäden (Entzündungsreaktionen, Fibrosen, Tumore)
- ▶ Entzündungsreaktionen außerhalb der Atemwege
- ▶ Überwindung von Gewebebarrieren (Luft-Blut-Schranke, Blut-Hirn-Schranke)
- ▶ Transport ins Gehirn entlang des Riechnervs
- ▶ Einlagerung in Organe, Durchdringen von Zellwänden

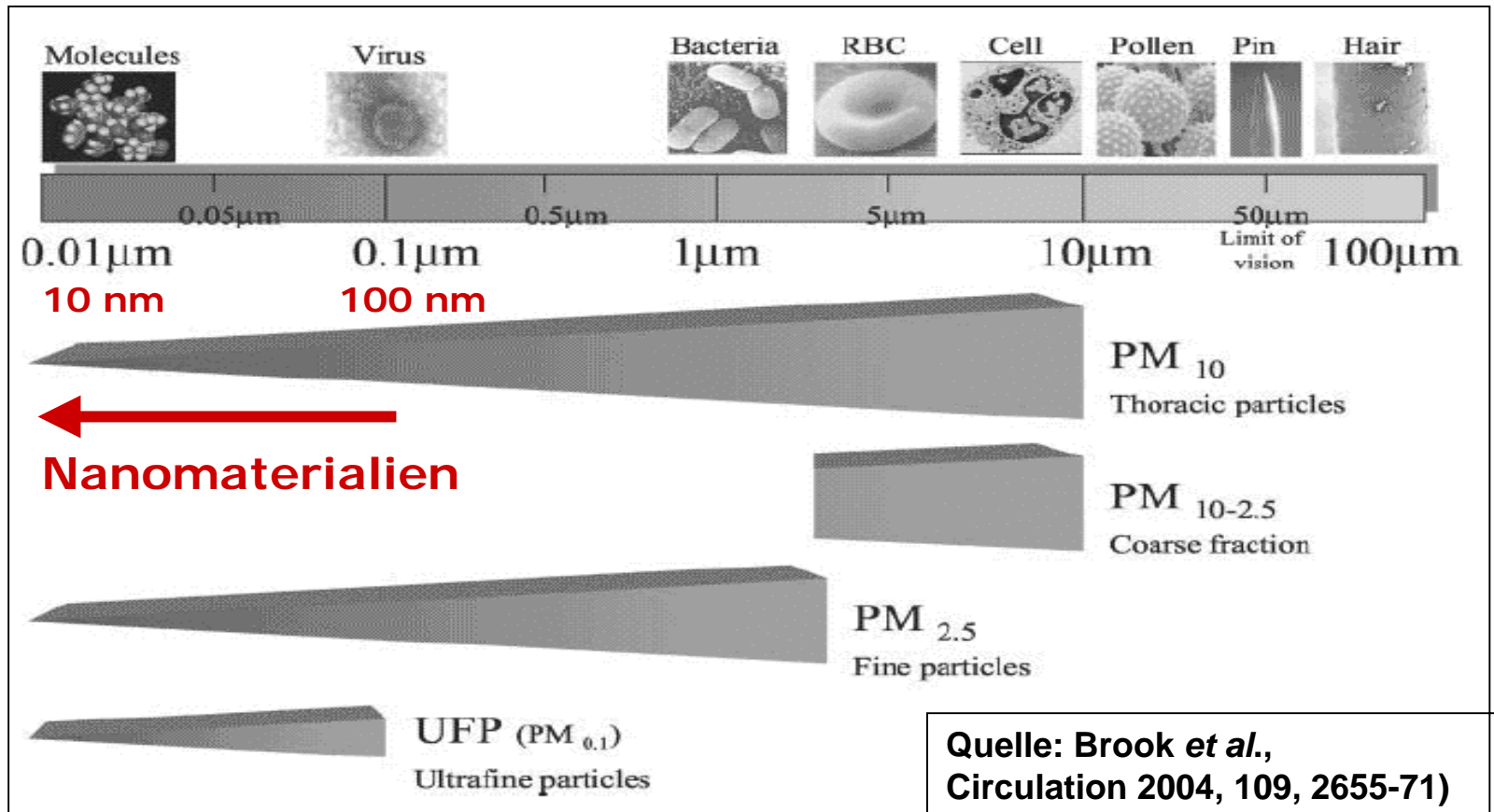
### Verabreichung von Kohlenstoff-Nanoröhren

- ▶ Frühformen von Schäden, die auch bei Belastung mit Asbest auftreten können (Vorformen von Mesotheliomen)

# Risiken für Gesundheit und Umwelt



## Größenvergleich





# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## Beobachtete toxikologische Effekte bei Nanomaterialien

- ▶ je kleiner die Teilchen, desto größer die schädigende Wirkung (**bei gleicher Masse** und chemisch identischer Substanz)
- ▶ **gleiche** schädigende Wirkung bei Bezug auf die Oberfläche der Teilchen

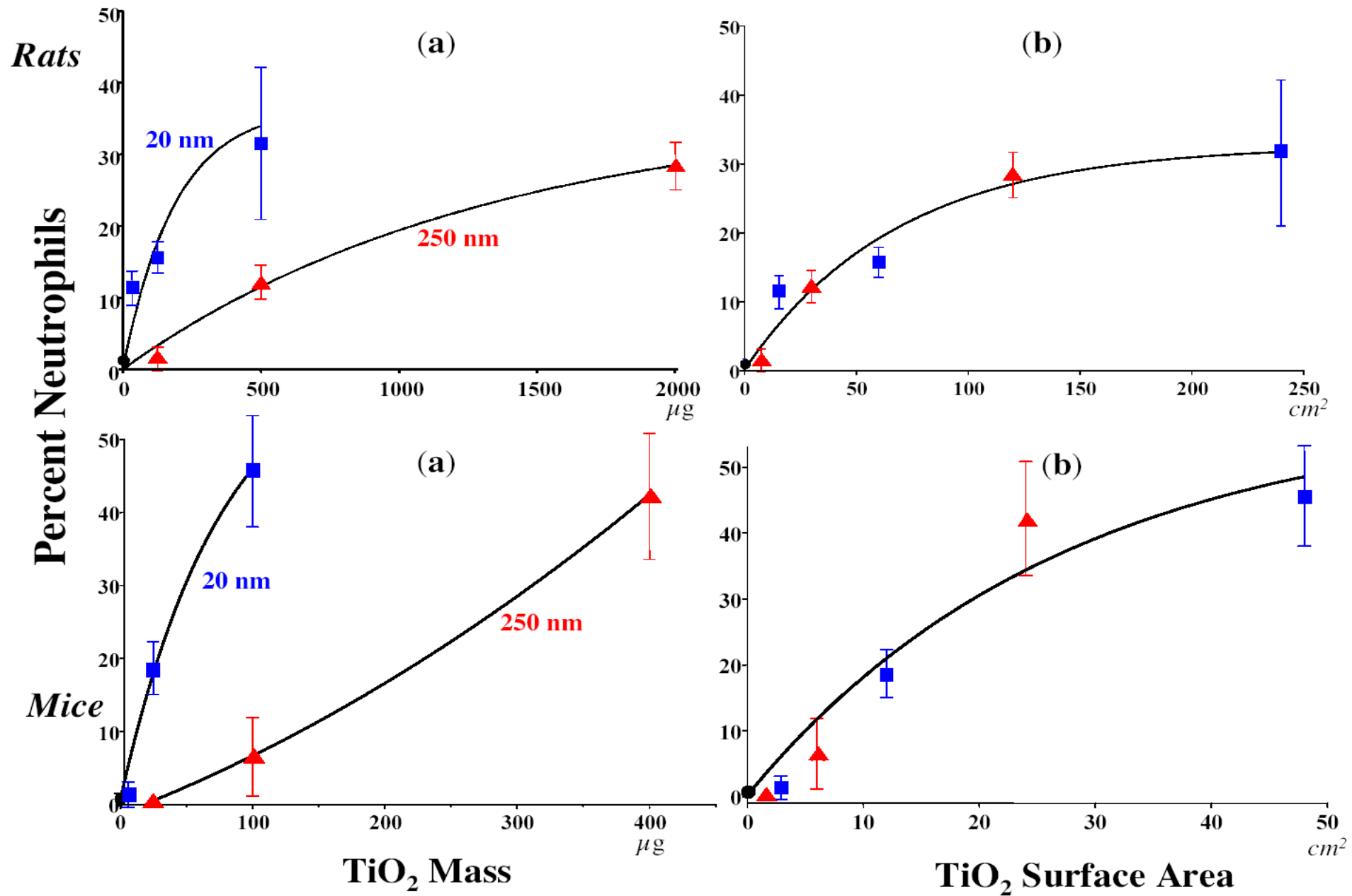
**Table 2.** Particle number and particle surface area per 10 µg/m<sup>3</sup> airborne particles.

Particle diameter (nm)	Particle no. (cm <sup>-3</sup> )	Particle surface area (µm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )
5	153,000,000	12,000
20	2,400,000	3,016
250	1,200	240
5,000	0.15	12

Quelle:

G. Oberdörster et al.;  
Nanotoxicology: An  
Emerging Discipline  
Evolving from Studies  
of Ultrafine Particles.

*Environmental Health  
Perspectives*, 2005,  
113, 823-39



# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## ■ Gegenwärtiger Stand des Wissens über schädigende Wirkungen von Nanomaterialien

... gibt **Anlass zur Besorgnis**, ist aber noch sehr begrenzt – **schnelle Änderung** ist trotz gezielter Forschung **nicht zu erwarten**, denn

- ▶ toxische Eigenschaften hängen (möglicherweise) von einer Vielzahl von Parametern ab:
  - Teilchenzahl und –größe
  - Form der Teilchen
  - Oberflächendosis  
(Menge der aufgenommenen Oberfläche)
  - Oberflächenbeschichtung
  - Oberflächenladung
  - Agglomerationsverhalten
  - Herstellungsverfahren

# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## Lebensweg und Expositionspfade von Nanomaterialien

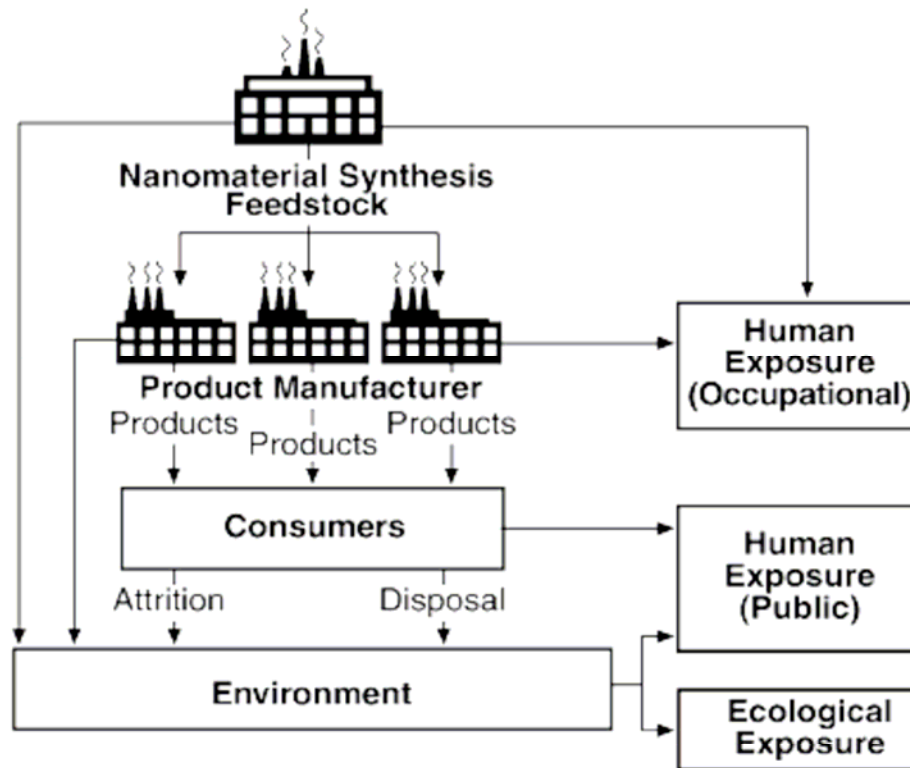


FIG. 5. Potential for release and exposure to nanoscale substances.

# Risiken für Gesundheit und Umwelt



## Bereiche mit Exposition gegenüber Nanomaterialien

- ▶ Arbeitsplätze
  - Forschungslaboratorien (Universitäten, Industrie)
  - Start-up Firmen
  - industrielle Herstellung (incl. Abfüllung, Reinigung, Wartung)
  - Weiterverarbeitung (von freien NM)
  - Bearbeitung (von gebundenen NM)
  - Recycling, Entsorgung
- ▶ Verbraucher
  - Nahrungsmittel-Bestandteile
  - Sprühverwendung von Produkten mit NM
  - Hautauftrag von Produkten mit NM (Kosmetika, ...)
- ▶ Umwelt
  - Abfall, Entsorgung
  - Abwasser (Herstellung, Weiterverarbeitung, Verbraucher)
  - Abrieb, Verwitterung (Produkte mit gebundenen NM)

# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## ■ Fragen zum Umweltverhalten von Nanomaterialien

- Beständigkeit der Nano-Eigenschaften (Persistenz, Abbaubarkeit)
- Veränderung der Bestandteile von „zusammengesetzten“ (beschichteten) Nanomaterialien
- Agglomerations- / Deagglomerationsverhalten, Sorption
- Transportverhalten, Sedimentation
- Mobilität im Boden
- Anreicherung über die Nahrungskette
- Abhängigkeit dieser Größen von Umweltparametern

# Risiken für Gesundheit und Umwelt



## Zwischenergebnisse

- hoher Forschungsbedarf zu Wirkungen auf Gesundheit und in der Umwelt
- hoher Entwicklungsbedarf von Messtechnik, Messmethoden und Messstrategien
- hoher Forschungsbedarf zu Verbleib und Ausbreitung in der Umwelt

[eine umfassende Übersicht über Forschungs- und Entwicklungsbedarfe ist im Bericht der NanoKommission zu finden; S. 38 – 40]

# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## Zwischenergebnisse

trotz großer Wissenslücken werden als besonders kritisch eingeschätzte Materialien und Verwendungen bereits jetzt benannt

so z.B. kürzlich von der britischen Royal Commission on Environmental Pollution:

- **besonders kritische Nanomaterialien:**

Fullerene, Kohlenstoff-Nanoröhren, Nanosilber

- **besonders kritische Verwendungen:**

freie, beständige Nanomaterialien, die gezielt in die Umwelt eingebracht werden

freie, beständige Nanomaterialien, die unvermeidlich in die Umwelt eingetragen werden (z.B. in Sonnencremes, Kosmetika, als Treibstoffzusätze)



# Risiken für Gesundheit und Umwelt

## Zwischenergebnisse

### **vorläufige Einschätzung möglicher Risiken**

Die NanoKommission der Bundesregierung hat in ihrem Bericht (S. 42 – 52) ein Schema für eine **vorläufige Abschätzung** der Risiken von Nanomaterialien und deren Verwendungen vorgeschlagen, dem sog. **Besorgnis- und Entlastungskriterien** zugrunde liegen.

Die vorläufige Abschätzung soll in einer Einteilung in drei Gruppen münden:

- Gefährdung wahrscheinlich – Besorgnis hoch
- Gefährdung möglich – Besorgnis mittel
- Gefährdung unwahrscheinlich – Besorgnis gering

Auch wenn dieses Schema derzeit noch nicht anwendungsreif ist, weist es einen möglichen Weg zur Umsetzung des **Vorsorgeprinzips**.

# Überblick



Begriffe und Definitionen



Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen



Risiken für Gesundheit und Umwelt



**Vorsorge**



Regulierung

# Vorsorge

## ■ Problemaufriss

- ▶ einerseits voranschreitende Forschung, Entwicklung, Vermarktung
- ▶ andererseits **fehlendes Wissen** über
  - gesundheits- und umweltschädigende Eigenschaften
  - Expositionen
  - Verhalten in der Umwelt
  - Persistenz der Nanoeigenschaften
- ▶ lediglich Hinweise auf **mögliche schädigende Wirkungen**
- ▶ **fehlender Überblick** über
  - Herstellungs- und Verwendungsmengen, exponierte Beschäftigte, vermarktete Produkte
- ▶ **Fehlen** von
  - standardisierten Messmethoden
  - billigen mobilen Messgeräten
  - validierten Expositionsdaten
- ▶ **geringe Kenntnisse** über Expositionsszenarien

# Vorsorge

## Konsequenz

- ▶ Anwendung des **Vorsorgeprinzips** – aber:  
Was bedeutet das konkret?

## mehr Forschung zu Gesundheits- und Umweltwirkungen

- ▶ Forschungsvorhaben werden weltweit ausgeweitet - aber
  - Vielzahl der möglicherweise relevanten Parameter erfordert große Zahl an Untersuchungen
  - **mit verallgemeinerbaren Ergebnissen ist daher nicht schnell zu rechnen**

## Was tun bis zum Vorliegen eindeutiger Ergebnisse?

**Prozess der  
Gefährdungs-  
beurteilung**

für jede Tätigkeit:  
Ermittlung der Gefahrstoffe,  
der Exposition, der Wirkung  
der Schutzmaßnahmen [§ 7 (1)]

nach  
GefStoffV

Aktualisierung der  
Gefährdungsbeurteilung,  
u.a. bei Veränderungen [§ 7 (6)]

Gefährdungsbeurteilung:  
Bewertung und Dokumentation,  
Gefahrstoffverzeichnis [§ 7]

Wirksamkeitskontrolle  
der Maßnahmen [§ 8 (2)];  
Dokumentation [§7 (6)]

Maßnahmenkatalog erstellen [§ 7];  
Maßnahmen umsetzen [§§ 8 – 18];  
Dokumentation [§ 7 (6)]

Betriebsanweisung;  
Unterweisung der Beschäftigten;  
arbeitsmed.-toxikolog. Beratung [§ 14]

# Vorsorge

- **Empfehlung von BAuA und VCI**  
(Leitfaden für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz,  
[http://www.baua.de/nn\\_43190/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf?](http://www.baua.de/nn_43190/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/pdf/Leitfaden-Nanomaterialien.pdf?)):
  - **Informationsermittlung**
  - **Gefährdungsbeurteilung**
  - **Festlegung der Schutzmaßnahmen**
    - ▶ **Expositionsminimierung** anstreben
    - ▶ Hinweise zur **Substitution**
    - ▶ **geschlossenes System** anstreben
    - ▶ Hinweise für **persönliche Schutzausrüstung** (bes. Atemschutz)
  - **Überprüfung der Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen**
    - ▶ Hinweise zu **Messverfahren**
    - ▶ Fehlen von Grenzwerten
  - **Dokumentation**

# Vorsorge



**Themen, die im „Leitfaden“ nicht angesprochen werden, die aber trotzdem bedacht werden sollten:**

■ **Empfehlungen für Beurteilungsmaßstäbe („Vorsorgewerte“)**

Anhaltspunkte:

Feinstaub in der allgemeinen Umwelt:

max.  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tagesmittelwert),

Überschreitung an höchstens 35 Tagen im Jahr zulässig

Feinstaub am Arbeitsplatz (A-Fraktion):

$3 \text{ mg}/\text{m}^3$  (Schichtmittelwert; AGW – TRGS 900) –

jedoch kein ausreichender Schutz für ultrafeine Stäube

Vorschlag für Nanomaterialien:  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (aber ...)

Asbest:  $15.000 \text{ F}/\text{m}^3$  bzw.  $100.000 \text{ F}/\text{m}^3$  (TRGS 519)

■ **arbeitsmedizinische Vorsorge**

■ **betrieblicher Umweltschutz**

# Vorsorge



## Leitfaden zur sicheren Herstellung und bei Tätigkeiten mit Nanomaterialien an Arbeitsplätzen in der BASF SE

- Geltungsbereich: **staubförmige, freie Nanopartikel; staubförmige, Nanopartikel enthaltende Produkte**
- Maßnahmen gemäß dem **Minimierungsprinzip** (wie für Stoffe ohne Wirkungsschwelle)
- Herstellung und Verwendung möglichst im **geschlossenen System**
- Exposition der Beschäftigten sollte **unbelastete Umgebungsluft** nicht überschreiten
- bei Exposition sind **bevorzugt technische**, zusätzlich bei Bedarf auch organisatorische und persönliche **Schutzmaßnahmen** anzuwenden
- Arbeitsbereiche, in denen eine Emission von Nanopartikeln möglich ist, werden durch **Arbeitsplatz- oder Expositionsmessung** überwacht



# Überblick



Begriffe und Definitionen



Anwendungen, Potentiale, Fragestellungen



Risiken für Gesundheit und Umwelt



Vorsorge



**Regulierung**

# Staatliche Regulierung – Stand der Diskussion

## ■ staatliche Intervention (Regulierung)

- ▶ kontroverse Positionen und Forderungen
  - neue Vorschriften erforderlich (bis hin zu „Nanotechnologie-Gesetz“)
  - bestehende Vorschriften ausreichend, da sie auch für Nanomaterialien gelten; zusätzliche spezielle Vorschriften überflüssig
  - bestehende Vorschriften gelten zwar grundsätzlich auch für Nanomaterialien, im Einzelfall könnten Ergänzungen oder Anpassungen bestehender Regelungen erforderlich sein

# Staatliche Regulierung – Stand der Diskussion

## Gegenwärtige Positionierung Von Bundesregierung und EU-Kommission

- ▶ „Nanotechnologie-Gesetz“ wird nicht erwogen
- ▶ Verweis auf vorhandene (Rahmen-)Gesetzgebung für Einzelbereiche
- ▶ nanospezifische Ergänzung oder Anpassung vorhandener Regelungen im Einzelfall denkbar
- ▶ Klärungsprozess: Ausmaß des konkreten Anpassungsbedarfs  
Zeitraumen

▶ ...

zentraler politischer Gesichtspunkt:  
staatliche Regulierung benötigt „harte“ Fakten, damit Erfordernis  
**politisch** begründet werden kann

# Staatliche Regulierung – Stand der Diskussion

## Abschätzung des Anpassungsbedarfs

- ▶ EU-Kommission: Regelungsaspekte bei Nanomaterialien [KOM(2008) 366. 17.6.2008] für die Rechtsbereiche
  - Chemikalien (REACH)
  - Schutz der Arbeitnehmer (5 Einzelrichtlinien)
  - Erzeugnisse (8 Teilbereiche sowie allgemeine Produktsicherheit)
  - Umweltschutz (7 Teilbereiche)
- ▶ BMU: Rechtsgutachten Nano-Technologien – ReNaTe (Dez. 2006)
  - Stoffrecht (REACH)
  - Anlagenrecht
  - Wasserrecht
  - Abfallrecht

# Regulierungselemente – der Baukasten



## Regelungsfragen

- ▶ **Was:** welche Stoffe?
- ▶ **Wo:** Herstellung, Verwendung
- ▶ **Wie viel:** welche Mengen?
- ▶ **Welche Eigenschaften?**
- ▶ **Welche Exposition?**
- ▶ **staatliche Vorgaben**
- ▶ **betriebliche Vorgaben**
- ▶ **Beurteilung**
- ▶ **Schutzmaßnahmen**
- ▶ **Wirksamkeit** d. Maßnahmen
- ▶ **Grad der Verbindlichkeit, Überwachung, Sanktionen**

## Bausteine

Definition von Nanomaterialien  
direkt: Register  
indirekt: Etikett, SDB  
Meldung  
Testverfahren  
Messstrategie und –verfahren  
Meldepflichten, Beschränkungen,  
Verbote  
Gefährdungsbeurteilung  
Maßstäbe (Konzentrationen,  
Mengen: „Grenzwerte“)  
Übersichten über verfügbare  
geeignete Maßnahmen  
Messverfahren, Berechnungs-  
verfahren

# Regulierungselemente – Erarbeitung der Bausteine

## ■ weltweite Arbeitsteilung - Koordinierung durch OECD und ISO

**OECD:** Arbeitsgruppe „Manufactured Nanomaterials“ mit 8 Projekten u.a. zu den Themen:

- ▶ Forschungsstrategie für Gesundheit und Umweltschutz
- ▶ Untersuchung ausgewählter repräsentativer Nanomaterialien
- ▶ Test-Richtlinien für Nanomaterialien
- ▶ Risikobeurteilungsmethoden
- ▶ Expositionsmessungen und Expositionsverminderung
- ▶ Freiwillige Programme und Regelungsvorhaben

**ISO:** Technisches Komitee „Nanotechnologien“ mit 3 Arbeitsgruppen zu den Bereichen:

- ▶ Begriffe und Definitionen (Terminology and Nomenclature)
- ▶ Messmethoden und Charakterisierungen
- ▶ Methoden für Expositionsmessungen, Schutzmaßnahmen und Testverfahren für Gesundheit und Umweltschutz

# Regulierung und Selbstregulierung

## Gestaltung der „Übergangszeit“

- ▶ zahlreiche **Dialoge** von Interessengruppen und Fachleuten (Industrie, Regierungen / Behörden, Umwelt- und Verbraucherverbände, Gewerkschaften, Wissenschaftler)
  - z. B. NanoDialog der Bundesregierung
- ▶ Erarbeitung von **Praxisleitfäden** und Informationsangeboten, Umsetzung von Beispielen „**Guter Praxis**“
  - z. B. Leitfaden von BAuA und VCI zum Arbeitsschutz
- ▶ freiwillige **Selbstverpflichtungen, Verhaltenskodizes**, Übernahme von **Prinzipien für einen verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien**

Ergebnisse können auch als **Vorstufe der Anpassung bestehender Regelungen** angesehen werden:  
aus „**technischer**“ Sicht könnten sie vielfach unmittelbar in solche Regelungen integriert werden

# Selbstregulierung

## Instrumente für Selbstregulierung

- ▶ freiwillige Meldeverfahren, Befragungen:  
Überblick über Herstellung und Verwendung
- ▶ Risiko- / Qualitäts-Managementsysteme
- ▶ Kennzeichnung von Produkten für Endverbraucher:  
Forderung von Verbraucher- und Umweltverbänden
- ▶ Verhaltenskodizes (Codes of Conduct)
  - für verantwortungsvolle Forschung (EU-Kommission)
  - Prinzipien für verantwortungsvollen Umgang (BMU NanoDialog)
  - Responsible Nanotechnologies Code (UK)
- ▶ Leitfäden
  - für Tätigkeiten mit Nanomaterialien am Arbeitsplatz (BAuA, VCI)
  - zur Informationsweitergabe in der Lieferkette beim Umgang mit Nanomaterialien über das Sicherheitsdatenblatt (VCI)



# NanoDialog der Bundesregierung

## NanoDialog 2006 – 2008 (1)

- ▶ Initiator: BMU
- ▶ Beteiligte: Bundesministerien und -behörden, Länderministerien, Berufsgenossenschaften, Wissenschaftler, (Hersteller-)Unternehmen und -Verbände, Umwelt- und Verbraucherverbände, Gewerkschaften (DGB)
- ▶ Laufzeit: 2006 – 2008, 2. Phase: 2009 - 2010
- ▶ Struktur: NanoKommission (15 Personen),  
bislang 3 Arbeitsgruppen (ca. 50 Personen)
  - AG 1: Chancen für Umwelt und Gesundheit
  - AG 2: Risiken und Sicherheitsforschung
  - AG 3: Prinzipien für einen verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien



# NanoDialog der Bundesregierung

## NanoDialog 2006 – 2008 (2)

- ▶ Ergebnisse (s. Abschlussbericht vom Nov. 2008, <http://www.bmu.de/nanokommission>):
  - Überblick über Anwendungen mit Entlastungspotenzial für die Umwelt (AG 1)
  - Empfehlungen zu Forschungsprioritäten (AG 2)
  - Kriterien zur Vergleichbarkeit von Studien (AG 2)
  - **Entlastungs- und Besorgniskriterien** (AG 2):
    - + : Verlust der Nanoeigenschaften
    - : Hinweise auf erwartbar hohe Exposition
    - : Hinweise auf evtl. problematische Wirkungen
    - : Hinweise auf Probleme im Risikomanagement
  - erste Risikoabschätzung für exemplarische Anwendungsbereiche (AG 2)
  - **Prinzipien** für einen verantwortungsvollen Umgang (AG 3)

# Code of Conduct: ein Beispiel

## Prinzipien für den verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien (1)

- ▶ Erarbeiter: NanoDialog des BMU
- ▶ Adressat: Forschung, Hersteller und Verwender („Organisation“)
- ▶ Form: Empfehlung im Bericht der NanoKommission
- ▶ Elemente: Einleitung, **5 Prinzipien**, Anhang
  - Verantwortung und Management (Good Governance)
  - Transparenz
  - Bereitschaft zum Dialog mit Interessengruppen
  - Risikomanagement etablieren
  - Verantwortung in der Wertschöpfungskette
- ▶ Überprüfung der Prinzipien alle 2 Jahre



# Code of Conduct: ein Beispiel

## ■ Prinzipien für den verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien (2)

### ▶ offene Punkte:

- Grad der Verbindlichkeit
- Überblick über umsetzende Organisationen
- Überprüfung der Umsetzung
- Konsequenzen bei Verstößen

### ▶ weitere Themen, über die kein Konsens erreicht wurde:

- Meldeverfahren für Herstellung und Verwendung von Nanomaterialien
- Kennzeichnung von Erzeugnissen, die Nanomaterialien enthalten

# Position des Europäischen Gewerkschaftsbundes (EGB)

- beträchtliches **Potential** für Ökonomie und Arbeitsplätze
- aber gleichzeitig große **Unsicherheit** über zu erwartenden Nutzen und über Risiken für Gesundheit und Umwelt
- im Zweifel **Vorrang** für **Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten**
- Anwendung des **Vorsorgeprinzips** für Nanotechnologien
- Erhöhung der **Forschungsmittel** für Gesundheits- und Umweltschutz
- Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz sollten verpflichtender **Bestandteil aller Forschungsvorhaben** werden
- Ergänzung und Anpassung bestehender **rechtlicher Regelungen**: REACH-VO (spezifische Forderungen), Chemische Agenten-RL; verbindliche Begrifflichkeiten für Nanomaterialien erforderlich
- **Transparenz** auf allen Ebenen:
  - für Beschäftigte durch Angaben im SDB
  - für Verbraucher durch Kennzeichnung von Konsumgütern
  - für staatliche Stellen durch Produktions- und Import-Register