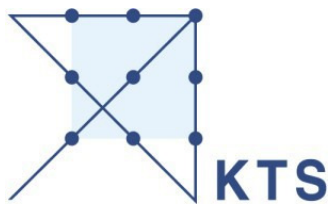


# Nanotechnologie

Visionen im Kleinen mit großer Zukunft - und unbedenklich?

**WiS!-Projekt gefördert von:**



KLAUS TSCHIRA STIFTUNG  
GEMEINNÜTZIGE GMBH

**WiS!-Materialien erstellt von:** Dr.  
Markus Herrmann Landesakademie  
Bad Wildbad / Regierungspräsidium  
Karlsruhe

# Nanotechnologie

Visionen im Kleinen mit großer Zukunft - und unbedenklich?

## Inhaltsverzeichnis

	Seiten
(A) EINSTIEG und MOTIVATION	I-II
(B) ANBINDUNG an den Bildungsplan allg. bildender Gymnasien (von Baden-Württemberg von 2004)	III
(C) UNTERRICHTSGANG – KOMPETENZEN – LERNZIELE 1. <i>Kompetenzerwerb in der Unterrichtseinheit - Überblick</i> 2. <i>Informationen zu den einzelnen Modulen</i>	IV-XVI
(D) LITERATUR - LINKS	XVII-XXI

# Nanotechnologie

## (A) EINSTIEG und MOTIVATION:

Am 12. Januar 2011 titelte das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in einer Pressemitteilung: **Kabinett beschließt den Aktionsplan Nanotechnologie 2015** – *Ministerin Schavan*: „Mit diesem ressortübergreifenden Konzept werden wir die Chancen der Nanotechnologie für Deutschland verantwortungsvoll nutzen“. Des Weiteren kann man hier lesen: „Die Nanotechnologie hat Einzug in das tägliche Leben der Menschen gehalten.“ [...]

„Die Nanotechnologie hat das Potenzial, zu den großen gesellschaftlichen Herausforderungen, wie wir sie in der Hightech-Strategie der Bundesregierung formuliert haben, wichtige technologische Lösungsbeiträge zu liefern. Dazu gehören Gesundheit, Umwelt- und Klimaschutz, die Sicherung der Energieversorgung, umweltfreundliche und energiesparende Mobilität sowie eine nachhaltige Landwirtschaft.“

Obwohl die Nanotechnologie bereits vor etwa einem halben Jahrhundert durch den amerikanischen Physiker und Nobelpreisträger Richard Feynman in seiner Rede von 1959 „*There's plenty of room at the bottom*“ („Es gibt sehr viel Platz am unteren Ende“) als technische Möglichkeit prognostiziert wurde, fanden Anwendungen von Objekten oder Materialien mit Dimensionen im Nanometerbereich erst in den vergangenen Jahren Einzug in den Verbraucheralltag.

Hier einige wenige konkrete Beispiele nanotechnologischer Anwendungen, mit denen man auch heute schon in Kontakt kommen kann:

- Siliciumdioxid-Nanopartikel als Bestandteil von Autolacken zur Erhöhung der Kratzfestigkeit verlängern die Haltbarkeit und verbessern den optischen Eindruck.
- Nano-Tonplättchen im Isoliermaterial von Elektrokabeln dienen als Flamm- und Brandschutz, können aber auch in PET-Flaschen als Gasbarrieren das Entweichen von CO<sub>2</sub> aus dem Getränk verhindern.
- Nanoteilchen aus Zinkoxid oder Titandioxid als unsichtbarer Schutz vor ultraviolettem Licht in Sonnencremes.
- Waschbecken, Badewannen, Badfliesen oder Duschkabinen mit nanostrukturierten Oberflächen, die den Lotus-Effekt aufweisen und somit Schmutz abweisend (Marketing-Schlagwort: *Easy-to-clean*) wirken, so dass sich auch Kalkreste leichter entfernen lassen.
- Kohlenstoff-Nanoröhren in Kunststoffen führen zur Gewichtseinsparung bei gleichzeitiger Erhöhung der mechanischen Stabilität und sind in Rahmen von Mountainbikes oder Tennisschlägern zu finden.
- Autokarosserien werden nicht mehr verschweißt, sondern geklebt. Die Aushärtung des Klebstoffs erfolgt durch Erhitzen von Eisenoxid-Nanoteilchen im magnetischen Wechselfeld.
- Hydroxylapatit-Nanopartikel in Zahnpasta verschließen Dentin-Kanälchen, wodurch Schmerzempfindungen durch Heiß-Kalt- oder Süß-Sauer-Reize unterbunden werden.
- in der Medizin werden Eisenoxid-Nanopartikel als Kontrastmittel für die bildgebenden Verfahren der Computer- oder Magnetresonanztomographie eingesetzt.
- Gold-Nanopartikel oder Fullerene in Anti-ageing-Kosmetika wirken als Antioxidantien oder Radikalfänger und sollen die Hautalterung verhindern.

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts erschienen nur positiv konnotierte bis euphorische Berichte mit Schlagzeilen wie „*Revolutionäre Möglichkeiten durch Nanotechnologie*“ (FAZ, 25. Sep. 2001) oder „*Goldgräber im Zwergenreich*“ (Die Zeit, 14. Feb. 2002) und prägten das öffentliche Meinungsbild. In den letzten Jahren wurden aber immer wieder auch kritische Stimmen laut. So konnte man bezogen auf die Nanotechnologie beispielsweise über „*Verdächtige Zwerge*“ (Die Zeit, 24. Juni 2009) lesen oder Wissenschaftler warnten durch Publikationen

wie „Kohlenstoff-Nanoröhrchen unterdrücken Immunsystem von Mäusen“ vor möglichen Gefahren für die menschliche Gesundheit.

Welche Position zur Thematik soll man einnehmen, wenn Befürworter mit Blick auf das enorme Potenzial der Nanotechnologie „goldene Zeitalter“ in Aussicht stellen, indem sie realistisch erscheinende Anwendungsideen sowie utopisch anmutende Visionen aufzählen und erläutern? Wie verhalte ich mich als Verbraucher, wenn Horrorszenarien aufgebaut werden können, ohne dass profunde Risikoforschung stattgefunden hat und eindeutige Ergebnisse vorliegen? Die Auseinandersetzung mit diesem Spannungsfeld wird unter der Tatsache zunehmend bedeutsamer, da sich der Prozess der Umsetzung nanotechnologischer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse bis hin zur Marktreife kontinuierlich beschleunigt.

Somit sind gerade auch Lehrkräfte gefordert, auf Fragen der Schülerinnen und Schüler oder bestimmte Medienberichte fundiert und differenziert reagieren zu können. Denn die Nanotechnologie besitzt zwar das Potenzial zur grundlegenden Veränderung ganzer Technologiefelder und wird in Zukunft nicht nur die Wissenschafts- und Forschungslandschaft, sondern auch die wirtschaftlich-technologische Entwicklung maßgeblich beeinflussen. Sie wird darüber hinaus aber auch ökologische, ethische und soziale Implikationen mit sich bringen, zu denen man individuell oder gesamtgesellschaftlich Stellung zu beziehen hat.

Sicherlich wird diese Unterrichtseinheit nicht alle Fragen klären können oder Verunsicherungen bezüglich der Nanotechnologie beseitigen. Aber sie möchte dazu beitragen und anregen, Kenntnisse zu einem der Wissenschafts-hot spots des 21. Jahrhunderts zu vertiefen, Einstellungen zu überdenken oder gar Verhaltensmuster durch alternative Konzepte zu variieren.

**Textquellen:**

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Aktionsplan Nanotechnologie 2015, Bonn-Berlin, 2010, [http://www.bmbf.de/pub/aktionsplan\\_nanotechnologie.pdf](http://www.bmbf.de/pub/aktionsplan_nanotechnologie.pdf) (Stand: 10.2.2011) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Pressemitteilung zum Aktionsplan Nanotechnologie 2015, Bonn-Berlin, 12.1.2011  
Fonds der Chemischen Industrie (FCI) Frankfurt a.M., „Wunderwelt der Nanomaterialien“, <http://fonds.vci.de>, Nov. 2009

**(B) ANBINDUNG an den Bildungsplan allgemein bildender Gymnasien (von Baden-Württemberg von 2004):**

Die erarbeitete Unterrichtseinheit zum Themenfeld „*Nanotechnologie*“ wurde so konzipiert, dass sie projekt- und handlungsorientiert als Einheit im Fach Naturwissenschaft und Technik (NwT) in der Klassenstufe 10 oder künftig in der Kursstufe bzw. im Fach Chemie in Form von Modulen in der Kursstufe unterrichtet werden kann. Bei der Erstellung wurde auf folgende Leitgedanken ein besonderes Gewicht gelegt:

- Y Naturwissenschaftliche Bildung umfasst Kenntnisse, Kompetenzen und Einstellungen, die die Schülerinnen und Schüler in ihrer Neugier unterstützen und zu Problemlösestrategien hinführen (**Problemorientierung**).
- Y Die Schülerinnen und Schüler erkennen Herausforderungen für die jetzigen und späteren Generationen. Sie bewerten Systeme und Innovationen im Sinne des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung unter ökologischen, ethischen, wirtschaftlichen und sozialen Gesichtspunkten (**Aktualität, Zukunftsrelevanz, Kontextbezug**).
- Y Die Fähigkeit Fragestellungen interdisziplinär zu bearbeiten, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Die in den Fachdisziplinen erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten müssen zu einer ganzheitlichen Sicht zusammengefügt werden (**Vernetzung**).
- Y Die Schülerinnen und Schüler erfahren, dass Erfindungen der Menschheit immer wieder neue Welten eröffnen.

In dieser Einheit wird der Kompetenzerwerb vor allem der beiden naturwissenschaftlichen Basisfächer Chemie und Physik aufgegriffen und vertieft, wobei der Fokus eindeutig bei Aspekten des Fachs Chemie angesiedelt ist.

Die Schülerinnen und Schüler sollen mit der Einheit / den Modulen zur Nanotechnologie im besonderen Maße folgende Kompetenzen entwickeln:

- Fächerverbindendes naturwissenschaftlich-technisches Denken (**Vernetzung**)
- Verständnis für den Ablauf von Innovationsprozessen
- Kritische Aufgeschlossenheit für neue Technologien
- Verständnis für die Rolle der Basiswissenschaft Chemie und deren Bedeutung in Alltag und Technik
- Teamfähigkeit und Eigenverantwortlichkeit bei der Arbeit in Projekten (**Handlungs- orientierung, Eigenständigkeit**)
- Durchhaltevermögen und Frustrationstoleranz bei der Lösung komplexer Aufgaben (**Differenzierung**)
- Erschließung wissenschaftlicher Texte (ggf. auch in englischer Sprache); kritischer Umgang mit Informationsquellen (**Differenzierung**)
- Fragebogen vor und nach der Unterrichtseinheit als Möglichkeit, den individuellen Wissenszuwachs und Kompetenzerwerb bewusster wahrzunehmen und zu dokumentieren (**Diagnose, Transparenz**)
- Schülerinnen und Schüler tragen **Eigenverantwortung** für den eigenen Wissenserwerb sowie für die Wissensvermittlung an Mitschülerinnen und –schüler durch fachlich korrekte und verständliche Präsentation der jeweiligen Projektthemen (**Handlungsorientierung**).
- In der abschließenden Debatte können Argumentationsfähigkeit geschult und erworbenes Wissen gefestigt werden (**intelligentes Üben** und **Anwenden**).

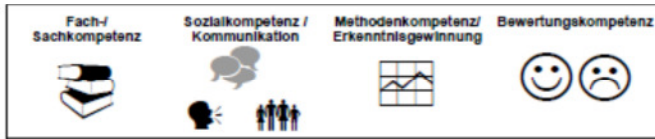
Nachfolgend aufgeführte didaktische Prinzipien haben bei der Konzeption dieser Unterrichts- einheit eine wesentliche Rolle gespielt:

- Ausgangspunkt für die gewählten Beispiele ist die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler (**Kontextbezug**).
- Schülerinnen und Schüler erfahren zu Beginn der Einheit, welche Ziele zu erreichen sind (**Transparenz**)
- Bestimmte Module erlauben die **exemplarische Erarbeitung** von Themen der Basisnaturwissenschaften in einem modernen Kontext.
- Die **Eigentätigkeit** der Schülerinnen und Schüler steht über Demonstration der Lerninhalte durch die Lehrkraft. Sie wird zum fachlichen Berater / zur fachlichen Beraterin und begleitet die Schülerinnen und Schüler auf ihrem Erkenntnisweg.

**(C) KOMPETENZEN – LERNZIELE – UNTERRICHTSGANG**
**1. Kompetenzerwerb in der Unterrichtseinheit – Überblick:**

Merkmale kompetenzorientierten Unterrichts	Einstieg	<b>Modul 1:</b> selbstreinigend Nano-Titandioxid	<b>Modul 2:</b> Reaktivität Nano-Eisen	<b>Modul 3:</b> Magnetismus Nano-Eisenoxid	<b>Modul 4:</b> Farben – Licht Nano-Gold	<b>Modul 5:</b> antimikrobiell Nano-Silber	<b>Modul 6:</b> Zahn – Knochen Nano-Apatit	<b>Modul 7:</b> Kohlenstoff- Nanoröhren	Pro-Contra- Debatte
Problemorientierung		X	X	X	X	X	X	X	
Handlungsorientierung		X	X	X	X	X	X	X	X
Exemplarisches Arbeiten			X		X				
Eigenständigkeit		X	X	X	X	X	X	X	X
Kontextbezug	X	X			X	X	X	X	
Vernetzung		X	X	X	X	X	X		X
Transparenz	X								X
Differenzierung		(X)	X	(X)	X	X	(X)		X
Intelligentes Üben									X
Aktualität	X	X	X	X	X	X	X	X	
Relevanz	X	X	X	X	X	X	X	X	
<b>Kommunikation</b>									
Präsentieren		X	X	X	X	X	X	X	
Argumentieren									X
Teamfähigkeit		X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Erkenntnisgewinnung</b>									
Umgang mit Texten / Infos (auch engl.)	X	X (engl.)	X	X	X	X (engl.)	X	X (engl.)	X
Arbeiten mit Tabellen, Grafiken, Modellen		X	(X)	X				X	
Vergleichen	X	X	X		X			X	X
Recherchieren	X	X	(X)			(X)	(X)		
Hypothesenbildung			X			X		X	
Versuche									
a) durchführen		X	X	X	X	X	X	X	
b) beobachten		X	X	X	X	X	X	X	
c) auswerten		X	X	X	X	X	X		
<b>Bewertung</b>		X	X			X	X	X	X

**Legende für Symbolik:**



**2. Informationen zu den einzelnen Modulen:**

**Einstieg**



Vor Beginn der eigentlichen Unterrichtseinheit sollen die Schülerinnen und Schüler ohne jeweiligen Überprüfungscharakter in einer Vorabbefragung den individuellen Kenntnisstand sowie die persönliche Einstellung bezüglich des neuen Unterrichtsthemas „Nano- technologie“ ergründen und dokumentieren.

Alle Schülerinnen und Schüler des Klassen- oder Kursverbands erlangen durch die Beschäftigung mit Arbeitsblatt 1 die Gelegenheit, in dieses Themengebiet einzusteigen und von gleicher Basis ausgehend, in Teams je eines der Module nachfolgend bearbeiten zu können. Über die virtuellen „Nanoreisen“ und den Vergleich von Objekten mit bekannten Größendimensionen wird den Schülerinnen und Schülern der Zugang zu Systemebenen mit unbekanntem bzw. unvertrauten Längenmaßen eröffnet; hier kann Einzel- oder Partnerarbeit als Sozialform gewählt werden. Die bei der Besprechung der Aufgaben zusammen- getragenen Alltagsanwendungen der Nanotechnologie erzeugen bei Schülerinnen und Schülern über ein Bewusstsein für die neue Technologie hinaus auch Neugier und Motivation, sich intensiver mit dem Thema befassen zu wollen. Befördert wird dies darüber hinaus durch Definition und Bekanntgabe der Zielsetzung für diese Unterrichtseinheit. Für die projektorientierte Modulphase werden die Teams entweder von den Schülerinnen und Schülern selbst oder von der Lehrkraft zusammengestellt. Die Auswahl der zu bearbeitenden Module sollte hinsichtlich der unterschiedlichen inhaltlichen und praktischen Anforderungen vor der Auswahl / Zuordnung transparent gemacht werden.

**Kompetenzen:**

- a) Bereich *Fach/-Sachwissen*:
  - aktuell gültige Definition für „Nanotechnologie“
- b) Bereich *Erkenntnisgewinn - Methodik*:
  - Erschließung von Quellen
  - Recherche
  - Computereinsatz
- c) Bereich *Kommunikation*:
  - Umgang mit Fachsprache
  - Veranschaulichung von Informationen/Fakten

**Lernziele:**

Die Schülerinnen und Schüler können

- den Dimensionsbereich von „nano“ ( $10^{-9}$ ) einordnen und mit Beispielen sowie über Vergleiche erläutern.
- die Bedeutung der Nanotechnologie für den eigenen Alltag erkennen und besser einschätzen.

**Modul 1: Selbstreinigende Oberflächen – Lotus-Effekt – Titandioxid-Nanopartikel**



Über die praktischen Versuche wird für die Schülerinnen und Schüler ein motivierender Zugang in das Themenfeld nanoskaliger und nanostrukturierter Oberflächen geschaffen. Das Phänomen des Lotus-Effekts kann an natürlichen Objekten und an einem selbst hergestellten Präparat beobachtet und untersucht werden. Durch die Auseinandersetzung mit dem Artikel „Selbstreinigende Materialien“ aus Spektrum der Wissenschaft vom August 2009 können sich Schülerinnen und Schüler auch die theoretischen Grundlagen zum Lotus- Effekt sowie Eigenschaften nanoskaliger Titandioxidschichten erarbeiten und sie zu Beobachtungen im praktischen Teil in Beziehung setzen. Die Recherche ermöglicht für Schülerinnen und Schüler, sich auch über die Bedeutung und den Einsatz von Titandioxid in Alltagsprodukten zu informieren. Über den Artikel von Manfred Lindinger „Nano ist das Maß aller Dinge – und harmlos?“ aus der *Frankfurter Allgemeinen Zeitung* vom 19.1.2011 können Schülerinnen und Schüler das bearbeitete Themengebiet beurteilen und für das eigene Verhalten eine Position beziehen.

Am Ende der Projektphase sollen die Schülerinnen und Schüler, die Modul 1 bearbeitet haben, die restlichen Klassen- oder Kursmitglieder über gewonnene Erkenntnisse und Fakten zu selbstreinigenden Oberflächen, Lotus-Effekt und Titandioxid-Nanopartikeln informieren.

**Kompetenzen:**

- a) Bereich *Fach/-Sachwissen*:
  - Lotus-Effekt
  - Eigenschaften, Darstellung und Bedeutung von Titandioxid
  - Eigenschaften und Bedeutung nanoskaliger Titandioxidschichten
- b) Bereich *Erkenntnisgewinn - Methodik*:
  - Erschließung von Quellen
  - Computereinsatz
  - Versuchsdurchführung und –auswertung
  - Dokumentation von Arbeitsschritten und Ergebnissen
- c) Bereich *Kommunikation*:
  - Zusammenarbeit mit Mitschülern
  - Umgang mit Fachsprache
  - Veranschaulichung und Präsentation von Informationen/Fakten
- d) Bereich *Bewertung*:
  - Erkennen und Reflektieren von relevanten Sachinformationen
  - Positionierung zu alltagsrelevanten Sachverhalten
  - Folgen eigenen Handelns erkennen

**Lernziele:**

Die Schülerinnen und Schüler können

- Vorkommen und Bedeutung des Lotus-Effekts in Natur und Technik nennen und dessen Funktionsprinzip erläutern.
- Einsatzgebiete von Titandioxid in Alltagsprodukten aufzählen und Eigenschaften nanoskaliger Titandioxidschichten erklären.



## **Modul 2: Reaktivität – Oberflächen-Volumen-Verhältnis – Eisen-Nanopartikel**



Der kurze Filmbeitrag des Lawrence Berkeley National Labs soll die Schülerinnen und Schüler an die Themenstellung dieses Moduls heranzuführen und dafür sensibilisieren. Die Durchführung des Versuchs eröffnet zunächst den praktischen Zugang. Versuchs- anleitungen mit zwei unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden ermöglichen der Lehrkraft eine Binnendifferenzierung. Theoretische Aspekte von Oberflächen-Volumen-Verhältnissen und deren Auswirkung auf das chemische Reaktionsvermögen von Stoffen sollen durch mathematische und biologische Betrachtungen erweitert werden und somit eine Vernetzung von Wissen erfolgen. Über den Artikel von Rüdiger Schacht „Das alte Meer und der Müll“ aus der *Frankfurter Allgemeinen Zeitung* vom 19.1.11 werden die Schülerinnen und Schüler auf ein aktuelles Problem aufmerksam gemacht, zu dem sie Lösungsstrategien entwickeln sowie eine Position beziehen sollen. Eine intensivere und tief greifendere Auseinandersetzung mit der Problemstellung von Plastikmüll in den Weltmeeren kann gegebenenfalls über den Film „Plastic Planet“ von Werner Boote mit dem entsprechenden Sonderarbeitsblatt angeboten werden.

Am Ende der Projektphase sollen die Schülerinnen und Schüler, die Modul 2 bearbeitet haben, die restlichen Klassen- oder Kursmitglieder über gewonnene Erkenntnisse und Fakten zur Reaktivität von Stoffen in Abhängigkeit zur vorhandenen Oberfläche sowie den Zusammenhang mit einer aktuellen Umweltproblematik informieren.

### **Kompetenzen:**

- a) Bereich *Fach/-Sachwissen*:
  - Chemisches Reaktionsvermögen und Oberflächen-Volumen-Verhältnis
  - Spontanverbrennung von Nano-Eisenpartikeln
- b) Bereich *Erkenntnisgewinn - Methodik*:
  - Erschließung von Quellen (auch in englischer Sprache)
  - Computereinsatz
  - Versuchsdurchführung und –auswertung
  - Dokumentation von Arbeitsschritten und Ergebnissen
- c) Bereich *Kommunikation*:
  - Zusammenarbeit mit Mitschülern
  - Umgang mit Fachsprache
  - Veranschaulichung und Präsentation von Informationen/Fakten
- d) Bereich *Bewertung*:
  - Erkennen und Reflektieren von relevanten Sachinformationen
  - Positionierung zu alltagsrelevanten Sachverhalten
  - Folgen eigenen Handelns erkennen

### **Lernziele:**

Die Schülerinnen und Schüler können

- die Zunahme der Reaktionsfähigkeit von chemischen Substanzen im nanoskaligen Bereich erklären und rechnerisch verdeutlichen.
- das Funktionsprinzip der Oberflächenvergrößerung auch mit biologischen Beispielen belegen.
- Zusammenhang und Auswirkung der Zunahme reaktiver / adsorbierender Oberflächen an einer aktuellen Umweltproblematik erläutern.

### **Modul 3: Magnetisierbarkeit – Eisenoxid-Nanopartikel**



Über den kurzen Ausschnitt des Interviews mit Dr. Andreas Jordan zum Einsatz von Eisenoxid-Nanopartikeln in der Krebstherapie soll für die Schülerinnen und Schüler ein Anreiz geschaffen werden, sich zunächst mit den theoretischen Grundlagen zum Magnetismus sowie den Ferrofluiden zu beschäftigen. Im Anschluss erfolgt die praktische Herstellung eines Ferrofluids, die aufgrund der „handwerklichen“ Anforderungen sicherlich eher für technisch interessierte und talentierte Schülerinnen und Schüler geeignet erscheint (somit eine Möglichkeit zur Binnendifferenzierung innerhalb der Klasse oder des Kurses). Das Verhalten des selbst hergestellten Ferrofluids und die Ausbildung einer Igelstruktur im Magnetfeld wird die Schülerinnen und Schüler begeistern und weiter motivieren, sich mit den gestellten Aufgaben zu befassen.

Am Ende der Projektphase sollen die Schülerinnen und Schüler, die Modul 3 bearbeitet haben, die restlichen Klassen- oder Kursmitglieder über gewonnene Erkenntnisse und Fakten zum Magnetismus und über Eigenschaften, Oberflächenfunktionalisierung sowie Anwendungsbereiche von Ferrofluiden informieren.

#### **Kompetenzen:**

##### a) Bereich *Fach-/Sachwissen*:

- Magnetisierbarkeit, Magnetismus, Magnetformen + Stoffbeispiele
- Darstellung, Eigenschaften und Anwendungen von Ferrofluiden
- Funktionsprinzip und Bedeutung der Oberflächenfunktionalisierung von Nanopartikeln

##### b) Bereich *Erkenntnisgewinn - Methodik*:

- Erschließung von Quellen
- Arbeit mit Modellen / Modellvorstellungen
- Unterscheidung verschiedener Systemebenen
- Entstehung eines bedeutsamen Forschungsergebnisses als Leistung von Personen nachvollziehen
- Versuchsdurchführung und –auswertung
- Dokumentation von Arbeitsschritten und Ergebnissen

##### c) Bereich *Kommunikation*:

- Zusammenarbeit mit Mitschülern
- Umgang mit Fachsprache
- Veranschaulichung und Präsentation von Informationen/Fakten

#### **Lernziele:**

Die Schülerinnen und Schüler können

- Ursachen des Magnetismus erläutern und Stoffbeispiele den verschiedenen Magnetformen zuordnen.
- die Magnetform des Superparamagnetismus' am Beispiel der Ferrofluide (nanoskalige Eisenoxid-Partikel mit funktionalisierten Oberflächen) erläutern.
- Beispiele für Anwendungen von Ferrofluiden aufzählen.

#### **Hinweise zur Bestellung von Ferrofluiden und Magneten: z.B.**

Firma: NEOTEXX, 12487 Berlin (Johannisthal) Homepage:

[www.neotexx.de](http://www.neotexx.de)

Ferrofluid 2 ml für 2,90 €, 15 ml für 15,50 €; Artikelnummer: X-002-002 bzw. X-002-015 Neodym-Stabmagnete (4 x 10 mm) für 0,32 € pro Magnet; Artikelnummer: S-004-010-N

### **Modul 4: Farben und Licht – Gold-Nanopartikel**



Die Schülerinnen und Schüler sollen zunächst über erstaunliche Anwendungsbeispiele zur Färbung von Glas mit Goldteilchen, die seit der Antike bzw. dem Mittelalter zum Einsatz kamen, für die Thematik von Modul 4 motiviert werden. Allgemeine Hinweise und Erläuterungen zur Farbentstehung durch Wechselwirkung von Licht mit Materie sowie die Abhängigkeit der Farbe von der Partikelgröße am Beispiel von Gold-Nanoteilchen dienen als Basis für die sich anschließenden praktischen Versuche. Aufgrund der Komplexität der zugrundeliegenden fachwissenschaftlichen Aspekte ist dieses Modul eher für Schülerinnen und Schüler geeignet, die ein gutes Verständnis für Theorien der Naturwissenschaften im Allgemeinen und der Chemie im Speziellen haben bzw. entwickeln können (Möglichkeit zur Binnendifferenzierung).

Am Ende der Projektphase sollen die Schülerinnen und Schüler, die Modul 4 bearbeitet haben, die restlichen Klassen- oder Kursmitglieder über gewonnene Erkenntnisse und Fakten zur Farbentstehung und über Farbgebungen sowie Oberflächenfunktionalisierung von Gold-Nanopartikeln informieren.

#### **Kompetenzen:**

- a) Bereich *Fach/-Sachwissen*:
  - Farbentstehung – Wechselwirkung von Licht mit Materie
  - Abhängigkeit von Farbe und Partikelgröße
  - Funktionsprinzip und Bedeutung der Oberflächenfunktionalisierung von Nanopartikeln
- b) Bereich *Erkenntnisgewinn - Methodik*:
  - Erschließung von Quellen
  - Arbeit mit Modellen / Modellvorstellungen
  - Unterscheidung der verschiedenen Systemebenen
  - Versuchsdurchführung und –auswertung
  - Dokumentation von Arbeitsschritten und Ergebnissen
  - Vergleichen
- c) Bereich *Kommunikation*:
  - Zusammenarbeit mit Mitschülern
  - Umgang mit Fachsprache
  - Veranschaulichung und Präsentation von Informationen/Fakten

#### **Lernziele:**

Die Schülerinnen und Schüler können

- die Entstehung von Farben als Wechselwirkungen von Licht mit Materie erläutern und verschiedene Typen der Farbenerzeugung unterscheiden.
- unterschiedliche Farben von nanoskaligen Teilchen am Beispiel von Gold-
  - Nanopartikeln erklären.
- einen Bezug zwischen Handwerkskunst vergangener Epochen und aktueller Hightech des 21. Jahrhunderts herstellen.

**Hinweis zur Bestellung von Tetrachlorogoldsäure-Trihydrat ( $\text{HAuCl}_4 \bullet 3\text{H}_2\text{O}$ ): z.B. Firma: Chempur**  
 Feinchemikalien und Forschungsbedarf GmbH, 76204 Karlsruhe Homepage:

<http://www.chempur.de/>

Bestellnummer: 004155 Preise: 1g  
 für 65 €; 5g für 195 €

**Modul 5: antimikrobielle Wirkung – Silber-Nanopartikel**



Der kurze Einführungstext gibt Schülerinnen und Schülern Informationen über die Nutzung und das Funktionsprinzip der antimikrobiellen Wirkung von Silber, und dies von Zeiten Alexander des Großen bis ins 21. Jahrhundert. Die Aufgaben sollten nach dem praktischen Teil bearbeitet werden. Die Versuche bieten für Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, zunächst eigenständig Silber-Nanopartikel auf zwei unterschiedliche Weisen herzustellen. Die Auseinandersetzung mit den Versuchsbeobachtungen führt zum Verständnis der chemischen Vorgänge und des Funktionsprinzips der Oberflächenfunktionalisierung von Silber-Nanopartikeln. Die Nennung des medialen / wissenschaftlichen Disputs über den Einsatz von Silber-Nanopartikeln schafft bei den Schülerinnen und Schülern den Anreiz, sich mit den Informationstexten zu beschäftigen und selbst eine Position zu einem alltagsrelevanten Sachverhalt zu beziehen.

Am Ende der Projektphase sollen die Schülerinnen und Schüler, die Modul 5 bearbeitet haben, die restlichen Klassen- oder Kursmitglieder über gewonnene Erkenntnisse und Fakten zur Herstellung, zum Einsatz sowie zur Oberflächenfunktionalisierung von Silber- Nanopartikeln informieren und diesen differenziert kritisch beleuchten.

**Kompetenzen:**

- a) Bereich *Fach/-Sachwissen*:
  - Darstellung, Eigenschaften und Anwendungen von Silber-Nanopartikeln
  - hier speziell: antimikrobielle Wirkung von Silber
- b) Bereich *Erkenntnisgewinn - Methodik*:
  - Erschließung von Quellen (auch in englischer Sprache)
  - Recherche
  - Arbeit mit Modellen / Modellvorstellungen
  - Unterscheidung der verschiedenen Systemebenen
  - Versuchsdurchführung und –auswertung
  - Dokumentation von Arbeitsschritten und Ergebnissen
- c) Bereich *Kommunikation*:
  - Zusammenarbeit mit Mitschülern
  - Umgang mit Fachsprache
  - Veranschaulichung und Präsentation von Informationen/Fakten
- d) Bereich *Bewertung*:
  - Erkennen und Reflektieren von relevanten Sachinformationen
  - Positionierung zu alltagsrelevanten Sachverhalten
  - Folgen eigenen Handelns erkennen

**Lernziele:**

Die Schülerinnen und Schüler können

- die Verwendung von Silber als antimikrobielle Substanz seit der Antike darstellen und begründen.
- Methoden zur technischen Gewinnung von Silber nennen und erläutern.
- reflektiert zum Einsatz von Silber-Nanopartikeln Stellung nehmen.

**Modul 6: Zahn und Knochen – Hydroxylapatit-Nanopartikel**



Durch Informationen zu Bau, Funktionsweise und Gesunderhaltung bzw. Heilung von Strukturelementen des eigenen Körpers werden die Schülerinnen und Schüler motiviert, sich auch detaillierter und fachwissenschaftlich über das Themengebiet „Calciumphosphate als bedeutendstes Beispiel für ein Biomineral“ kundig zu machen. Gerade die Aspekte der Zahnpflege, Kariesentstehung und Fluorverbindungen als Ergänzungssubstanzen in Zahncremes und Speisesalz wecken das Interesse der Schülerinnen und Schüler, da hierdurch ein Bezug zum Alltag und eigenen Körper hergestellt wird. Durch den praktischen Teil sowie die kritische Stellungnahme von „Stiftung Warentest“ zur Kariesprophylaxe einer Zahncreme mit Hydroxylapatit-Nanopartikeln wird die inhaltliche Auseinandersetzung weiter intensiviert.

Am Ende der Projektphase sollen die Schülerinnen und Schüler, die Modul 6 bearbeitet haben, die restlichen Klassen- oder Kursmitglieder über gewonnene Erkenntnisse und Fakten zur Bedeutung von Calciumphosphat für den Aufbau von Knochen und Zähnen sowie dessen Rolle bei humanpathogenen Prozessen informieren. Desweiteren sollen sie die Herstellung sowie Oberflächenfunktionalisierung von Hydroxylapatit-Nanopartikeln erläutern und deren unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten differenziert darlegen.

**Kompetenzen:**

- a) Bereich *Fach/-Sachwissen*:
  - Bedeutung von Calciumphosphaten für Knochen und Zähne
  - Darstellung, Eigenschaften und Verwendung von Hydroxylapatit-Nanopartikeln
- b) Bereich *Erkenntnisgewinn - Methodik*:
  - Erschließung von Quellen
  - Recherche
  - Arbeit mit Modellen / Modellvorstellungen
  - Unterscheidung der verschiedenen Systemebenen
  - Versuchsdurchführung und –auswertung
  - Dokumentation von Arbeitsschritten und Ergebnissen
- c) Bereich *Kommunikation*:
  - Zusammenarbeit mit Mitschülern
  - Umgang mit Fachsprache
  - Veranschaulichung und Präsentation von Informationen/Fakten
- d) Bereich *Bewertung*:
  - Erkennen und Reflektieren von relevanten Sachinformationen
  - Positionierung zu alltagsrelevanten Sachverhalten

**Lernziele:**

Die Schülerinnen und Schüler können

- das Vorkommen und die Bedeutung von Calciumphosphaten in Knochen und Zähnen sowie bei pathologischen Prozessen darstellen.
- medizinische Anwendungsgebiete von nanoskaligen Calciumphosphat-Präparaten nennen und erläutern.
- reflektiert zum Einsatz von Hydroxylapatit-Nanopartikeln Stellung nehmen.

**Beispiele von Zahncremes mit Hydroxylapatit-Nanopartikeln:**

BioRepair Zahncreme von Dr. Wolff GmbH, 75 ml etwa 5 € Repair

White von Perlweiss, 50 ml etwa 9 bis 10 €

Theramed SOS Sensitive von Schwarzkopf & Henkel, 40 ml etwa 6 € ApaCare &

Repair Zahnreparatur-Gel von Cumdente GmbH, 30 ml etwa 11 €

**Modul 7: Kohlenstoff-Nanoröhren – Graphen**


Über die bekannten und durch ihre Gegensätzlichkeit bemerkenswerten Kohlenstoff-modifikationen Graphit und Diamant erhalten die Schülerinnen und Schüler einen motivierenden Zugang in das Themengebiet. Die theoretische Vertiefung von Struktur- Eigenschafts-Relationen erfolgt durch die neuen Hightech-„Familienmitglieder“ der Fullerene, des Graphens und der Kohlenstoff-Nanoröhren. Durch Aufzeigen möglicher Gefahren für die menschliche Gesundheit sollen die Kohlenstoff-Nanoröhren auch einer kritischen Betrachtung unterzogen werden. Der praktische Anteil mit der Herstellung von Graphen- schichten mit Klebeband ist sicherlich besonders für Schülerinnen und Schüler geeignet, die Hobbybastler oder Tüftler sind.

Am Ende der Projektphase sollen die Schülerinnen und Schüler, die Modul 7 bearbeitet haben, die restlichen Klassen- oder Kursmitglieder über gewonnene Erkenntnisse und Fakten zur Struktur- Eigenschafts-Beziehung von Graphit und Diamant informieren. Desweiteren sollen sie Herstellung, Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von Graphen und Kohlenstoff-Nanoröhren erläutern. Bei letzteren soll auch das mögliche Gefährdungspotenzial für die menschliche Gesundheit Erwähnung finden.

**Kompetenzen:**

- a) Bereich *Fach/-Sachwissen*:
  - Strukturen und Eigenschaften von Kohlenstoffmodifikationen
  - Darstellung, Eigenschaften und Verwendung von Graphen
  - Eigenschaften und Verwendung von Kohlenstoff-Nanoröhren
- b) Bereich *Erkenntnisgewinn - Methodik*:
  - Erschließung von Quellen
  - Arbeit mit Modellen / Modellvorstellungen
  - Unterscheidung der verschiedenen Systemebenen
  - Versuchsdurchführung
  - Dokumentation von Arbeitsschritten und Ergebnissen
- c) Bereich *Kommunikation*:
  - Zusammenarbeit mit Mitschülern
  - Umgang mit Fachsprache
  - Veranschaulichung und Präsentation von Informationen/Fakten
- d) Bereich *Bewertung*:
  - Erkennen und Reflektieren von relevanten Sachinformationen
  - Positionierung zu alltagsrelevanten Sachverhalten
  - Folgen eigenen Handelns erkennen

**Lernziele:**

Die Schülerinnen und Schüler können

- die Eigenschaften der Kohlenstoffmodifikationen Graphit und Diamant anhand der unterschiedlichen Strukturen erläutern.
- Eigenschaften von Benzol und Graphen miteinander vergleichen und anhand der Molekülstrukturen erklären.
- reflektiert zum Einsatz von Kohlenstoff-Nanoröhren (CNTs) Stellung nehmen.

**Hinweise zur Bestellung von Flockengraphit:** Firma:

NGS Naturgraphit GmbH in 91227 Leinburg Homepage:

[www.graphit.de/index.php?id=82&L=1](http://www.graphit.de/index.php?id=82&L=1)

Produkt: extrem große Grapheniumflocken (besonders geeignet zur Graphenherstellung) Preise: etwa 20 € pro Gramm

**Präsentationen:**



**Allgemeine Hinweise:**

- Medienauswahl nicht nur auf Bildschirmpräsentation beschränken, sondern z.B. selbst hergestellte Nanopartikel-Präparate in Vortrag integrieren.
- jedes Teammitglied sollte bei der Vorstellung der Fakten, Ergebnisse und Bewertungen einen aktiven Part haben
- Vorträge zeitlich so gestalten, dass Zuhörerschaft hinterher auch noch die Gelegenheit hat, Fragen zu stellen.
- kurzes Hand-out (1-2 DinA4-Seiten) für Mitschülerinnen und Mitschüler zur Verfügung stellen, das die wichtigsten Fakten des jeweiligen Moduls zusammenfasst.

**Tipps für eine gelingende Präsentation:**

- Vorbereitung der Präsentation: a) Stoff sammeln, b) Wichtiges auswählen,
- Komprimieren des Stoffes
- Einheitliches Folienlayout - Klarheit geht vor Schönheit
- Sparsamer Umgang mit Farben - Farben eine Bedeutung geben - Farbcodes verwenden und beibehalten
- Nicht zu viel Text pro Folie (max. 7 Zeilen)
- Visualisierung der ausgewählten Inhalte
- Präsentation einleiten: a) Neugierde wecken, b) mit Übersicht eine Orientierung ermöglichen
- Präsentation beenden: a) Was ist die Hauptaussage?, b) kurze Zusammenfassung der wichtigsten Fakten

**Faktoren gegen das Vergessen:**

- Bezüge zum Alltag herstellen, vergleichen
- Beispiele nennen
- Überzeichnungen
- Drastische Darstellung wählen
- Anschauungsmaterial zeigen

**Genauere Vorbereitung -> die beste „Waffe“ gegen Lampenfieber!!!**

- Inhalte teilnehmerbezogen aufbereiten
- Klare Gliederung/klaren Ablauf vorbereiten
- Ev. Stichwortzettel (A 5 oder Karteikärtchen) vorbereiten
- Präsentationsziele schriftlich ausformulieren
- Präsentation vorher üben (ev. Präsentationsraum)
- Schlussappell vorbereiten

**Die häufigsten Fehler bei Präsentationen:**

- Sofortiger Einstieg ins Thema, ohne jeglichen persönlichen Bezug
- Keine inhaltliche und zeitliche Gliederung der Präsentation
- Verwendung einer komplizierten Sprache mit vielen Fach- und Fremdwörtern, Abkürzungen und Schachtelsätzen
- Der Vortrag wird komplett abgelesen!
- Zu hohes oder zu geringes Sprechtempo - keine Sprechpausen – keine Modulation
- Fehlen von konkreten Beispielen und Vergleichen
- Keine Visualisierung – Abbildungen zu klein
- kein Blickkontakt mit Auditorium – kein Eingehen auf Zwischenfragen
- keine Zusammenfassung der wichtigsten Punkte am Ende der Präsentation

**Pro-Contra-Debatte:**



**Aufgaben zur Vorbereitung der Debatte in der kommenden Stunde:**

Unten aufgeführte Gruppierungen sollen unter Leitung eines Moderators / einer Moderatorin (z.B. Chemielehrer/-in) Pro - Contra der Nutzung der Nanotechnologie diskutieren.

a) Teilen Sie den Kurs in 5 Gruppen und bestimmen Sie Personen für die verschiedenen Funktionen:

- 4 Gruppen vertreten die Interessen von ... und beziehen folgende Position:
  - Wissenschaft-Forschung: Hightech-Forschung wie in der Nanotechnologie ist immens teuer. Als Mitarbeiter / Leiter einer Forschungsgruppe sind Sie in der Lage, potenzielle Geldgeber von den Chancen und der großen Bedeutung der Ergebnisse in diesem Wissenschafts-bereich zu überzeugen, und verteidigen ihr Projekt.
  - Wirtschaft-Industrie: Herstellung und Vermarktung von nanotechnologischen Produkten versprechen weltweit große Umsatz- und Gewinnsteigerungen. Nanotechnologie bedeutet für Sie und Ihren Betrieb Fortbestand und Wachstum auch in Zukunft.
  - Politik-Behörden: Sie erkennen das Potenzial der Nanotechnologie und sind grundsätzlich bereit, Steuergelder für Forschung und Entwicklung zur Verfügung zu stellen; die finanzielle Unterstützung kann aber nur erfolgen, wenn die Risiken kalkulierbar sind.
  - Verbraucher- u. Umweltschutz: Die Auswirkungen nanoskaliger Produkte auf die menschliche Gesundheit bzw. die Umwelt sind noch wenig erforscht, so dass Sie vor bestimmten Anwendungen der Nanotechnologie warnen.

Jede dieser 4 Gruppen besteht jeweils aus 1 x Sprecher/-in + 2 x Berater/-innen.

- die übrigen Schülerinnen und Schüler sind Zuhörer/-innen und vertreten die Verbraucher/-innen: sie sollten selbst Fragen stellen oder können Beiträge liefern (☐ Freier Stuhl) und geben in der nächsten Unterrichtsstunde ein Feedback (z.B. in Hinblick auf Glaubwürdigkeit in der Rolle als ..., Logik in der Argumentation etc.)

b) Die einzelnen Teams erhalten Texte, die sie aufmerksam lesen sollen.

c) Anschließend sollen die Teams Argumente für nachfolgend aufgeführten Leitfragen sammeln (Hinweis: in den Texten lassen sich nicht zu allen Leitfragen immer für die 4 Gruppierungen Argumente finden). Die **Teams sollen am besten schon einmal gruppenintern vor der Debatte üben.**



**Aufgaben zur Vorbereitung der Debatte in der kommenden Stunde:**

Unten aufgeführte Gruppierungen sollen unter Leitung eines Moderators / einer Moderatorin (z.B. Chemielehrer/-in) Pro - Contra der Nutzung der Nanotechnologie diskutieren.

a) Teilen Sie den Kurs in 5 Gruppen und bestimmen Sie Personen für die verschiedenen Funktionen:

➔ 4 Gruppen vertreten die Interessen von ... und beziehen folgende Position:

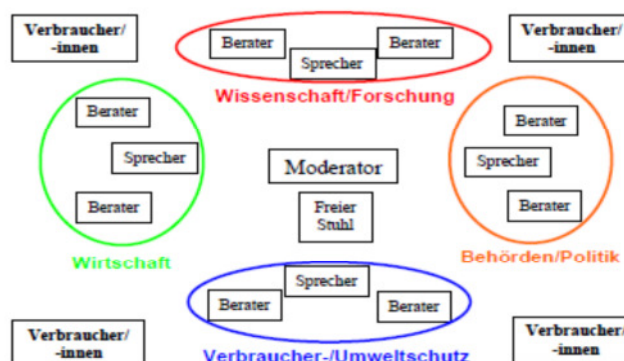
- **Wissenschaft-Forschung:** Hightech-Forschung wie in der Nanotechnologie ist immens teuer. Als Mitarbeiter / Leiter einer Forschungsgruppe sind Sie in der Lage, potenzielle Geldgeber von den Chancen und der großen Bedeutung der Ergebnisse in diesem Wissenschaftsbereich zu überzeugen, und verteidigen ihr Projekt.
- **Wirtschaft-Industrie:** Herstellung und Vermarktung von nanotechnologischen Produkten versprechen weltweit große Umsatz- und Gewinnsteigerungen. Nanotechnologie bedeutet für Sie und Ihren Betrieb Fortbestand und Wachstum auch in Zukunft.
- **Politik-Behörden:** Sie erkennen das Potenzial der Nanotechnologie und sind grundsätzlich bereit, Steuergelder für Forschung und Entwicklung zur Verfügung zu stellen; die finanzielle Unterstützung kann aber nur erfolgen, wenn die Risiken kalkulierbar sind.
- **Verbraucher- u. Umweltschutz:** Die Auswirkungen nanoskaliger Produkte auf die menschliche Gesundheit bzw. die Umwelt sind noch wenig erforscht, so dass Sie vor bestimmten Anwendungen der Nanotechnologie warnen.

➔ Jede dieser 4 Gruppen besteht jeweils aus 1 x Sprecher/-in + 2 x Berater/-innen.

➔ die übrigen Schülerinnen und Schüler sind Zuhörer/-innen und vertreten die Verbraucher/-innen: sie sollten selbst Fragen stellen oder können Beiträge liefern (-7 Freier Stuhl) und geben in der nächsten Unterrichtsstunde ein Feedback (z.B. in Hinblick auf Glaubwürdigkeit in der Rolle als ..., Logik in der Argumentation etc.)

b) Die einzelnen Teams erhalten Texte, die sie aufmerksam lesen sollen.

c) Anschließend sollen die Teams Argumente für nachfolgend aufgeführten Leitfragen sammeln (Hinweis: in den Texten lassen sich nicht zu allen Leitfragen immer für die 4 Gruppierungen Argumente finden). Die **Teams sollen am besten schon einmal gruppenintern vor der Debatte üben.**



**Leitfragen für die Diskussion in der nächsten Unterrichtsstunde:**

**Beziehen Sie vor der Debatte Stellung als Interessensgruppe und achten Sie darauf, Ihre gruppentypischen Positionen zu vertreten.**

- 1) Die *Nanotechnologie* wird gerne mit Begriffen wie „Technologie des 21. Jahrhunderts“ und „Zukunftstechnologie“ verbunden. Handelt es sich hierbei um reine Science fiction oder existieren bereits Anwendungen, denen man als Verbraucher im Alltag begegnen kann?
- 2) Warum wird die Nanotechnologie als zukunftsweisend eingeschätzt? Welche Chancen werden mit ihr verbunden?
- 3) Schön und gut. Wie sieht es mit der Kehrseite der Medaille aus? In den vergangenen Jahren wurden vermehrt auch Stimmen laut, die Risiken in der Nutzung der Nanotechnologie sehen. Von welchen Risiken ist hier die Rede?
- 4) Was bedeutet dies nun konkret? Sollte die Nanotechnologie insgesamt als gesundheits- und umweltgefährdend eingestuft werden?
- 5) Wie lautet Ihre Stellungnahme am Ende der Debatte?
- 6) Überlegen Sie nach der Debatte gruppenintern, ob Sie möglicherweise Ihre ursprüngliche Position verändern müssen. Suchen Sie gegebenenfalls nach einer Lösung, die die gruppenspezifischen Interessen weitestgehend wahrt.

**WICHTIG: Nach der Debatte sind die Schülerinnen und Schüler wieder von der zuvor eingenommenen Rolle / Position zu befreien!**

**Kompetenzen:**

- a) Bereich *Erkenntnisgewinn - Methodik*:
  - Erschließung von Quellen
  - Sammeln und ordnen
- b) Bereich *Kommunikation*:
  - Zusammenarbeit mit Mitschülern
  - Eingehen auf andere Beiträge
- c) Bereich *Bewertung*:
  - Anwendung von Strategien zur Bewertung
  - Erkennen von relevanten Sachinformationen und Normen
  - Stellung nehmen und begründen
  - Einnehmen von Fremdperspektiven

**Lernziele:**

Die Schülerinnen und Schüler können

- Informationen differenziert analysieren und sachlogisch argumentieren.
- Beiträge naturwissenschaftlicher Erkenntnisse für das eigene Leben und die eigene Gesundheit erkennen und bewerten.

**Abschlussbefragung:**

Schülerinnen und Schüler füllen den Fragebogen „Abschlussbefragung“ aus und vergleichen ihre Antworten mit denen, die sie vor der Unterrichtseinheit abgegeben hatten (s. Fragebogen: Vorabbefragung).

**(D) LITERATUR und LINKS:**

**Fachwissenschaft:**

*Allgemein:*

- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Aktionsplan Nanotechnologie 2015, Bonn-Berlin, 2010, [http://www.bmbf.de/pub/aktionsplan\\_nanotechnologie.pdf](http://www.bmbf.de/pub/aktionsplan_nanotechnologie.pdf)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Pressemitteilung zum Aktionsplan Nanotechnologie 2015, Bonn-Berlin, 12.1.2011
- Fonds der Chemischen Industrie (FCI) Frankfurt a.M., „Wunderwelt der Nanomaterialien“, <http://fonds.vci.de>, Nov. 2009
- <http://www.nanoforum.org/>
- <http://www.nanotruck.de/>
- <http://www.nanotruck.de/hightech-aus-dem-nanokosmos/themen.html>
- <http://www.techportal.de/>
- <http://nanotechweb.org/>

*Nano und Schule-Studium-Beruf:*

- Swiss Nano-cube – Die Innovationsgesellschaft, St. Gallen, <http://www.swissnanocube.ch/nano-teach-box/>, Dez. 2010
- <http://www.lehrer-online.de/fc-nano.php>
- [http://www.science-on-stage.de/?p=1\\_4\\_1](http://www.science-on-stage.de/?p=1_4_1)
- Nano-Orientierungs-Akademie (NOra) für Kursstufen-Schülerinnen: <http://www.nano-4-women.de/content/view/99/165/lang,de/>
- <http://www.nanoreisen.de/>
- <http://www.nano-bildungslandschaften.de/>

*Nano und Sicherheit:*

- <http://www.nanopartikel.info/cms>
  - [www.nanosafe.org](http://www.nanosafe.org)
  - [http://www.bmbf.de/pub/flyer\\_nanocare-projekte\\_dt.pdf](http://www.bmbf.de/pub/flyer_nanocare-projekte_dt.pdf)
- Verbraucherinformationen:*
- <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/>
  - <http://www.nanoproducts.de/>
  - <http://www.nanotruck.de/hightech-aus-dem-nanokosmos/themen.html>

**Thema Lotus-Effekt – Titandioxid-Nanopartikel:**

- Spektrum der Wissenschaft, „Selbstreinigende Materialien“ von Peter Forbes, S. 88-95, August 2009
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Lotuseffekt>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Titandioxid>

**Thema Oberflächen-Volumen-Verhältnis – Pyrophores Eisen:**

- Filmbericht über die Lawrence Berkeley National Labs in Kalifornien, USA: <http://www.youtube.com/watch?v=S4CjZ-OkGDs&playnext=1&list=PL27CA5389D600D07A&index=5>
- H.W. Roesky, K. Möckel, *Chemische Kabinettstücke – Selbstentzündliches Eisen*, VCH-Verlag Weinheim, 1996

**Thema Magnetisierbarkeit – Eisenoxid-Nanopartikel:**

- Spektrum der Wissenschaft, „Es wird nur dort heiß, wo unsere Nanoteilchen sind“ Interview mit Dr. Andreas Jordan, S. 104-105, November 2009
- Film zum Verhalten eines Ferrofluids im Magnetfeld: <http://www.youtube.com/watch?v=xHr95f0S5po&feature=related>
- Film über Hyperthermie-Verfahren mit Ferrofluid-Nanopartikeln: <http://www.youtube.com/watch?v=Yb4ufoZS4vs&feature=related>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid>
- <http://world-of-nano.de/anwendungen/werkstoffe:-nanoferrite-und-ferrofluide--4-0020.html>
- <http://www.tet.tu-cottbus.de/nethe/forschung/ferrofluide/>

**Thema Farben-Licht – Gold-Nanopartikel:**

- Lehrer-online: „Herstellung und Untersuchung von Nano-Goldpartikeln“, K. Prete, Dr. W. Zehren, Prof. Dr. R. Hempelmann, <http://www.lehrer-online.de/nano->



[goldpartikel.php?sid=60588101881740310529628882888780](http://goldpartikel.php?sid=60588101881740310529628882888780)

-[http://de.wikipedia.org/wiki/Entstehung\\_von\\_Farben](http://de.wikipedia.org/wiki/Entstehung_von_Farben)

-<http://de.wikipedia.org/wiki/Licht>

-Chemie heute – Sekundarstufe II, „*Farbstoffe – vom Königspurpur zum Jeansblau*“, Schroedel Verlag Hannover, 1998

-Elemente Chemie – Kursstufe, „*Licht und Farbe*“, Klett-Verlag Stuttgart, 2010

**Thema antimikrobielle Wirkung – Silber-Nanopartikel:**

-<http://de.wikipedia.org/wiki/Silber>

-Holger Muster, *Nanosilber - Herstellung, Anwendungen und Risikobetrachtung*,

<http://www.nanoproducts.de/>

-*Nanosilber statt Antibiotika*, Nano! – Nutzen und Visionen einer neuen Technologie, Landesmuseum für Technik und Arbeit, Mannheim, 2010

-Spektrum der Wissenschaft, Interview von Björn Lohmann mit René Zimmer, „*Risiko Nanotechnologie?*“, S. 96, Feb. 2009

-Holger Muster, „*Nanosilber - Herstellung, Anwendungen und Risikobetrachtung*“,

<http://www.nanoproducts.de/> (Stand: 11.1.11)

-Wenjuan Yang et al., Teda Bio-X Centre for Systems Biotechnology, "*Food storage material silver nanoparticles interfere with DNA replication fidelity and bind with DNA*", Tianjin University of Science and Technology, Tianjin, Volksrepublik China, Februar 2009

-R. Fries et al., Inst. für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Nanotrust dossiers, „*Nanosilber*“, April 2009

<http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf>

**Thema antimikrobielle Wirkung – Silber-Nanopartikel:**

-Networking-Projekt „Naturwissenschaft und Technik (NwT)“, „*Herstellung von Silber-Nanopartikeln*“,

Robert-Bosch-Stiftung – Regierungspräsidium Karlsruhe – Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

[http://www.nat.nwt-bw.de/module/nano/V1\\_Versuchsblatt\\_Nanopartikelherstellung.pdf](http://www.nat.nwt-bw.de/module/nano/V1_Versuchsblatt_Nanopartikelherstellung.pdf)

-Landesinstitut für Pädagogik und Medien (LPM) Saarland, „Lehrfilm zur Herstellung von Nanopartikeln“, <http://www.youtube.com/watch?v=dbEcyauFHYI>, Zeitfenster: 2min. 53sec. – 3min. 52sec., 5. Nov. 2009

**Thema Knochen und Zahn – Hydroxylapatit-Nanopartikel:**

-<http://de.wikipedia.org/wiki/Apatit>

-S.V. Dorozhkin, M. Epple, *Die biologische und medizinische Bedeutung von Calcium-phosphaten*, Angew. Chem. 2002, 114, 3260-3277

-<http://www.mk-dental.de/pdf/nanobone/NanoBone.pdf>

-n-tv online, „*Kampf der Karies - Nanomaterial hilft bei Zahnpflege*“,

<http://www.n-tv.de/wissen/Nanomaterial-hilft-bei-Zahnpflege-article981731.html>

-Stiftung Warentest, Zahncreme Biorepair, 19.08.2009

<http://www.test.de/themen/gesundheit-kosmetik/schnelltest/Zahncreme-...>

-Die Zahnarzt Woche, *Nanotechnologie – die Zukunft hat auch in der Zahnmedizin schon begonnen*, 05. Januar 2010

<http://www.dzw.de/zahnmedizin/artikel/archive/2010/january/article/nanotechnologie-die-zukunft-hat-auch-in-der-zahnmedizin-schon-begonnen.html>

**Thema Kohlenstoff-Nanoröhren – Graphen:**

-<http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoff>

-<http://de.wikipedia.org/wiki/Graphit>

-Chemie im Kontext (Sek. II), *Anorganische Molekülsubstanzen*, Cornelsen-Verlag Berlin, 2006

-<http://de.wikipedia.org/wiki/Graphen>

-<http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffnanoröhre>

-<http://de.wikipedia.org/wiki/Benzol>

-Spektrum der Wissenschaft, „*Wunderstoff aus dem Bleistift*“ von Andre K. Geim und Philip Kim, S. 86-93, Aug. 2008

- Spektrum der Wissenschaft, „Wie Nano das Auto verändert“ von Björn Lohmann, S. 90-97, Feb. 2009
- Spektrumdirekt, „Winzige Gefahr Atemluft – Kohlenstoff-Nanoröhren unterdrücken Immunsystem von Mäusen“, [www.wissenschaft-online.de/artikel/997965](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/997965), vom 19.6.2009
- Spektrumdirekt, „Flexible Touchscreens – Graphen-Elektronik wird greifbar“, [www.wissenschaft-online.de/artikel/1037071](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/1037071), vom 25.6.2010
- Professor Per Delsing, Rede zur Verleihung des Nobelpreises für Physik, Stockholm, 10. Dez. 2010
- D.I.Y. Graphene: *How to Make One-Atom-Thick Carbon Layers with Sticky Tape*, Scientific American, 20. März 2008  
[http://www.scientificamerican.com/slideshow.cfm?id=diy-graphene-how-to-make-carbon-layers-with-sticky-tape&photo\\_id=04C56101-F7F2-99DF-3FD38426FEFCFA86](http://www.scientificamerican.com/slideshow.cfm?id=diy-graphene-how-to-make-carbon-layers-with-sticky-tape&photo_id=04C56101-F7F2-99DF-3FD38426FEFCFA86)

**Thema Pro-Contra-Debatte:**

- René Zimmer, Rolf Hertel, Gaby-Fleur Böhl, „BfR-Delphi-Studie zur Nanotechnologie“, Berlin 2009  
[http://www.bfr.bund.de/cm/238/bfr\\_delphi\\_studie\\_zur\\_nanotechnologie.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/238/bfr_delphi_studie_zur_nanotechnologie.pdf)
- Spektrumdirekt, „Winzige Gefahr Atemluft“, [www.wissenschaft-online.de/artikel/997965](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/997965), vom 19. Juni 2009
- Spektrumdirekt, „Heikle Nanos im Warenregal“, [www.wissenschaft-online.de/artikel/1001610](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/1001610), vom 17. Juli 2009
- Spektrumdirekt, „Stiefkind Risikoforschung“, [www.wissenschaft-online.de/artikel/958043](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/958043), vom 3. Juni 2008
- Mitchell, L.A. et al.: *Pulmonary and Systemic Immune Response to Inhaled Multiwalled Carbon Nanotubes*. In: Toxicological Sciences 100, S. 203-214, 2007
- Poland, C. A. et al.: *Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study*. In: Nature Nanotechnology, 2008
- Scheufele, D.A. et al.: *Scientists worry about some risks more than the public*. In: Nature Nanotechnology 2, S. 732-734, 2007
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), *Leitinnovation NanoMobil*,  
<http://www.bmbf.de/de/1846.php>
- André, G. et al.: *nano – Chancen und Risiken aktueller Technologien*, Springer-Verlag Heidelberg, 2007
- Shrivastava S. et al.: *Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles*. Nanotechnology Vol. 18, 2007
- Spektrumdirekt, „Großer Chip mit kleinen Röhrchen - Flexible Chips mit Kohlenstoff-elektronik“, [www.wissenschaft-online.de/artikel/962830](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/962830), vom 25. Juli 2008
- Spektrumdirekt, „Kleine Röhrchen als Bio-Transporter“, [www.wissenschaft-online.de/artikel/795400](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/795400), vom 13. Dez 2005
- Spektrumdirekt, „Bio-Brennstoffzellen mit Kohlenstoff-Nanoröhren“, [www.wissenschaft-online.de/artikel/1028719](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/1028719), vom 16. April 2010
- Cao, Q. et al.: *Medium-scale carbon nanotube thin-film integrated circuits on flexible plastic substrates*. in: Nature 454, S. 495-500, 2008
- Nadine Wong Shi Kam, Zhuang Liu and Hongjie Dai: *Carbon Nanotubes as Intracellular Transporters for Proteins and DNA: An Investigation of the Uptake Mechanism and Pathway*. in: Angewandte Chemie Vol. 118, S. 591–595, 13. Dez. 2005
- Mano, N. et al.: *Engineering hybrid nanotube wires for high-power biofuel cells*. In: Nature Communications 10.1038/ncomms1000, 2010
- Verbraucherzentrale Bremen, 9. Bremer Forum Gesundheitlicher Verbraucherschutz, „Chancen und Risiken der Nanotechnologie“, <http://www.verbraucherzentrale-bremen.de/themen/ernaehrung/chancen-und-risiken-der-nanotechnologie.html>
- Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv), „Nanotechnologien – neue Herausforderungen für den Verbraucherschutz“, Berlin, 16. Oktober 2009,  
[http://www.vzbv.de/mediapics/positionspapier\\_nanotechnologien\\_oktober\\_2009.pdf](http://www.vzbv.de/mediapics/positionspapier_nanotechnologien_oktober_2009.pdf),
- Global 2000, „Nanotechnologie – Was hat das mit mir zu tun?“,  
<http://umwelt.lebensministerium.at/article/articleview/77864/1/7033/>
- Verband der Chemischen Industrie (VCI) – *Nanomaterialien-Vielfältige Eigenschaften und zahlreiche Anwendungen* vom 30.11.2010

<http://www.vci.de/default~cmd~shd~docnr~125659~lastDokNr~125378.htm>

-Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWV), „*Nanotechnologie aktuell*“, April 2009,  
<http://www.institut-wv.de/5684.html>

### **Medien:**

- Frankfurter Allgemeine Zeitung, „*Nano ist das Maß der Dinge - und harmlos?*“ von Manfred Lindinger, 19. Jan. 2011
- Frankfurter Allgemeine Zeitung, „*Nanotechnologie – Wenn es keine Risiken gibt, brauchen wir auch keine Warnschilder*“ von Manfred Lindinger, 19. Jan. 2011
- Frankfurter Allgemeine Zeitung, „*Das alte Meer und der Müll*“ von Rüdiger Schacht, 19. Jan. 2011
- Frankfurter Allgemeine Zeitung, „*Nanotechnologie - Krabbelstunde für Moleküle*“ von Manfred Lindinger, 12. Jan. 2011
- Frankfurter Allgemeine Zeitung, „*400 Millionen Euro pro Jahr - Regierung will Bürger für Nanotechnik gewinnen*“ von Henrike Roßbach, 12. Jan. 2011
- Frankfurter Allgemeine Zeitung, „*Entwarnung für Lunge? – Fresszellen vertilgen Nanoröhrchen*“ von Manfred Lindinger, 1. Mai 2010
- Frankfurter Allgemeine Zeitung, „*Nanotherapie – Hitze gegen Hirntumore*“ von Manfred Lindinger, 19. Dez. 2009
- Die Zeit, „*Wie gefährlich ist die Nanotechnologie?*“, Ralf Nestler, Juliane Schäuble, 19.11.2009
- Die Zeit, „*Warten auf den Störfall*“, Josephina Maier, 21.10.2009
- Die Zeit, „*Nanopartikel stören die Hirnentwicklung bei Mäusen*“, sp, 8.8.2009
- Die Zeit, „*Nanotechnologie – Verdächtige Zwerge*“, Adelheid Müller-Lissner, 24.6.2009
- FOCUS-Online, „*Nanotechnologie – Solarzellen zum Aufsprühen*“, sr, 17.2.2011
- FOCUS-Online, „*Nanotechnologie – Kapsel liefert Medizin in Zellen*“, Wolfgang Müller, 20.10.2009
- FOCUS-Online, „*Nanotechnologie – Gefährliche Zwerge*“, Michael Odenwald, 30.1.2009
- FOCUS-Online, „*Nanotechnologie - Neuer Speicher für Handy und Co.*“, Wolfgang Müller, 18.6.2008
- Rhein-Neckar-Zeitung, „*Das dünnste und stabilste Material der Welt*“, Simone Humml, 6. Okt. 2010

### **Methodik – Didaktik:**

- Bildungsplan 2004: „Allgemein bildendes Gymnasium“, Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg
- Wilfried Reisse: „*Kompetenzorientierte Aufgabenentwicklung*“, Aulis Verlag Deubner Köln, 2008

# Nanotechnologie-

Visionen im Kleinen mit großer Zukunft– und

unbedenklich ?





Der neueste Hit des  
**nano**  
Der neue iPod nano mit Multi-Touch.

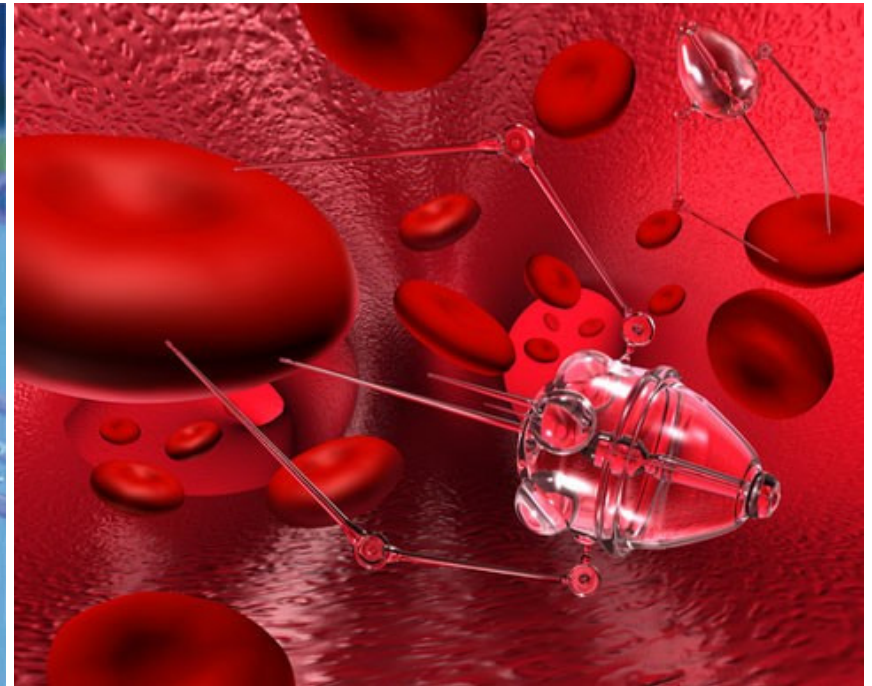
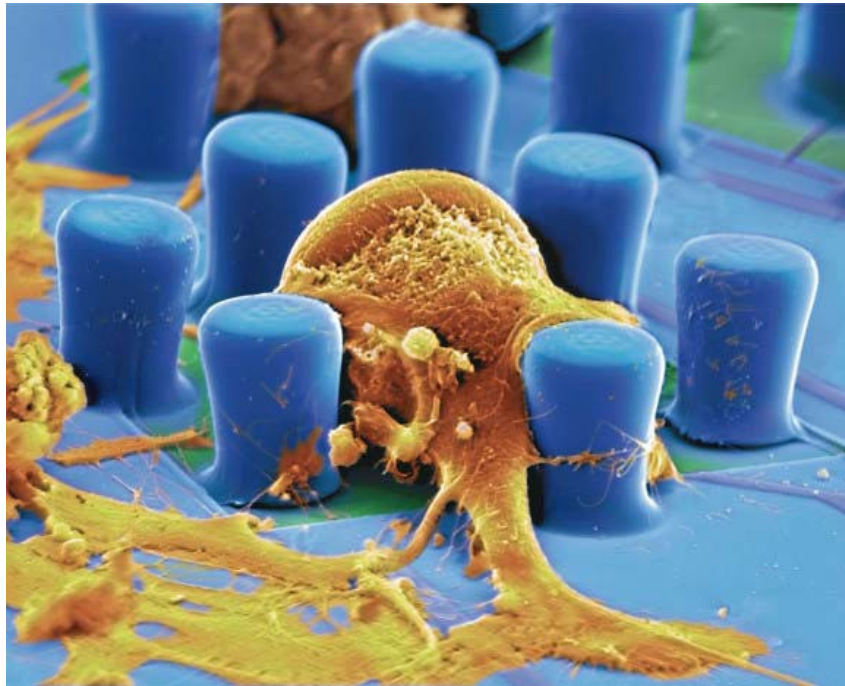




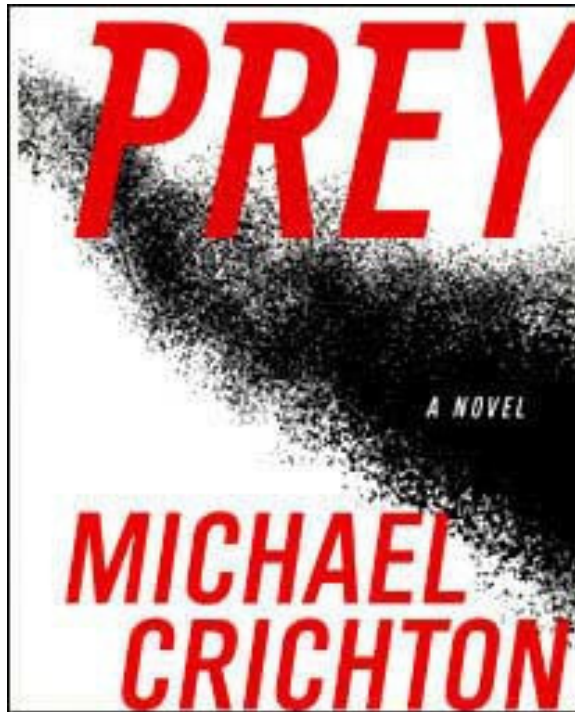
Powerbridge 5



BMC Promachine SLC01



Nanobiotechnologie:  
Nervenzelle koppeln an  
elektrische Kontakte



## **Prey (Die Beute)**

von Michael Crichton (2002):

Gefährdung für biologische Lebensformen durch **Nano-roboter** mit künstlicher Intelligenz, die sich selbst reproduzieren können und sich evolutiv weiterentwickeln.

**Sammlung von Artikel-Überschriften aus:** *Frankfurter Allgemeine*  
ZEITUNG FÜR DEUTSCHLAND

**Nanotechnologie – Lauert im Zwergenreich Gefahr?**

(20. Feb. 2006)

**Nanotechnik – Die Invasion der Winzlinge**

(1. Aug. 2006)

**Nano ist das Maß aller Dinge – und harmlos?**

(19. Jan. 2011)

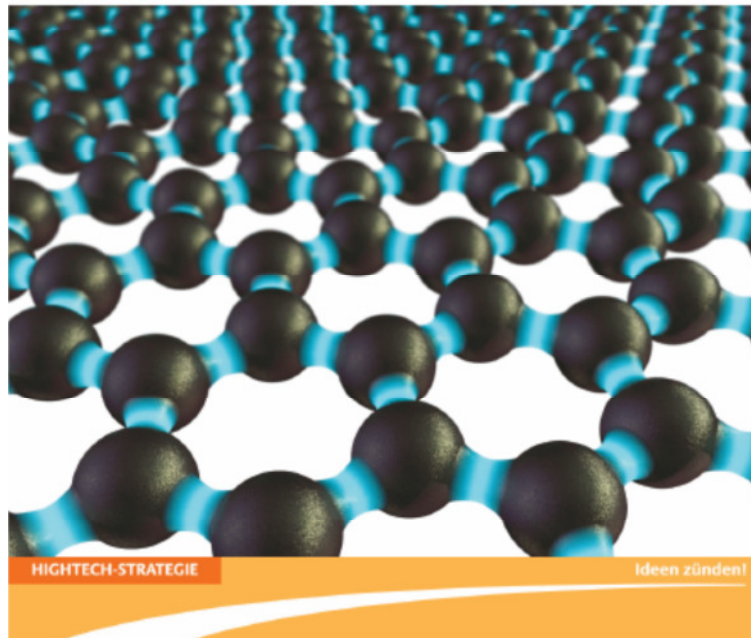
**HYPE**



**HYSTERIE**



Aktionsplan Nanotechnologie 2015



Berlin, 12. Januar 2011

## **Kabinett beschließt den Aktionsplan Nanotechnologie 2015**

**Schavan:** „Mit diesem ressort-  
übergreifenden Konzept werden  
wir die Chancen der Nano-  
technologie für Deutschland  
verantwortungsvoll nutzen“

Arbeitsblatt 1:

# Liliput – Entdeckungen auf der Zwergeninsel

## Nanoforschung – die Zukunftstechnologie des 21. Jahrhunderts!?

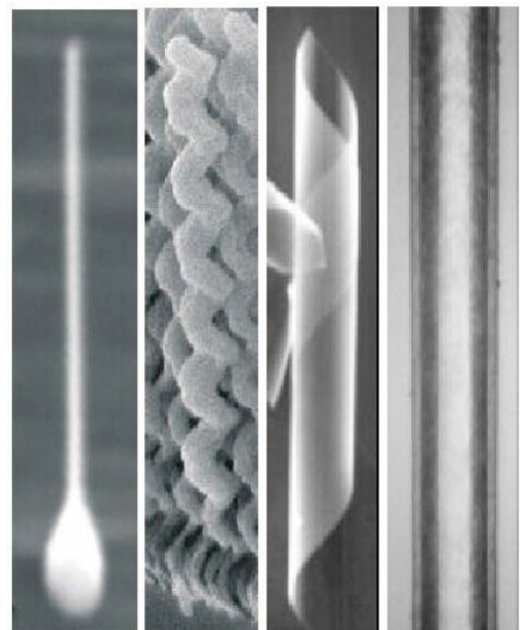
Zitat aus der Einleitung des Status quo-Berichts „*nano.DE-Report 2009*“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) von 2009:

„Die Nanotechnologie hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten von einem nur in Expertenkreisen bekannten Wissenschaftsfeld zu einem viel beachteten internationalen Forschungs- und Technologietrend entwickelt. In den Forschungsagenden der führenden Industrienationen wird der Nanotechnologie eine Schlüsselrolle als eines der aussichtsreichsten Technologiefelder mit Innovationspotenzialen in fast allen industriellen Anwendungsfeldern beigemessen. Die dynamische Entwicklung der Nanotechnologie äußert sich dabei nicht nur in einem starken Anstieg der öffentlichen Fördermittel, der Anzahl der Patente und Publikationen in den letzten Jahren, sondern auch an der zunehmenden Verbreitung nanotechnologischer Produkte auf den Weltmärkten. Trotz der Fülle einschlägiger Publikationen zu Innovations- und Anwendungspotenzialen der Nanotechnologie mangelt es allerdings oftmals an einer quantifizierbaren Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung der Nanotechnologie sowie einer transparenten Darstellung des tatsächlichen Standes der wirtschaftlichen Umsetzung.

Dies liegt zum einen daran, dass die Nanotechnologie als sogenannte „enabling technology“ sehr früh in der Wertschöpfungskette einsetzt, wie z.B. bei der Herstellung nanooptimierter Werkstoffe oder nanoskaliger Beschichtungen, daher nur einen kleinen Ausschnitt aus der Wertschöpfungskette repräsentiert und im Endprodukt für den Verbraucher oftmals nicht wahrnehmbar ist. Ein weiterer Grund für die eher diffuse Wahrnehmung der Nanotechnologie im Außenfeld ist die Fülle unterschiedlicher Verfahren und Anwendungsfelder, die eine definitorische Eingrenzung der

**Abb. 1:** Nanofäden -spiralen, -röllchen und -röhren aus Titandioxid

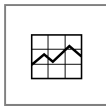
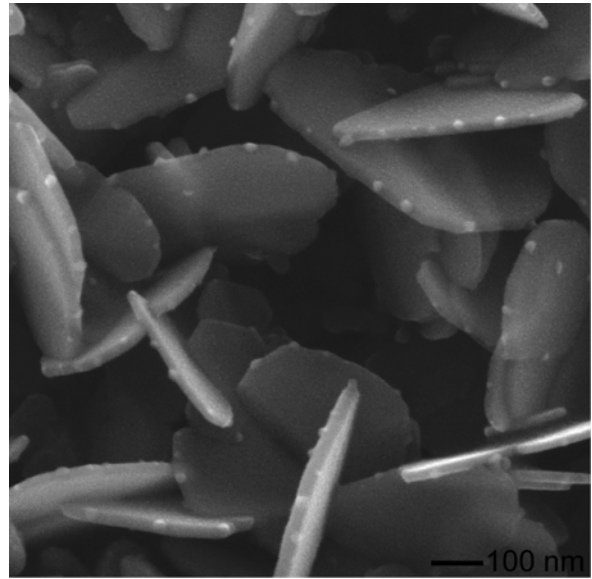
Nanotechnologie schwierig machen. Das Spektrum der Nanotechnologie-Anwendungen reicht dabei von Hightechbereichen wie der Elektronik, Optik, den Life Sciences und Neuer Werkstoffe bis hin zu eher klassischen Branchen wie dem Maschinenbau, dem Textil- und Bauwesen oder auch Alltagsprodukten wie Kosmetika, Sportgeräten oder Haushaltsmitteln. Um eine international abgestimmte Sichtweise und Abgrenzbarkeit der Nanotechnologie zu erreichen, werden derzeit von internationalen Standardisierungsgremien wie dem ISO und dem IEC die Grundlagen für eine vereinheitlichte Nomenklatur und Normierung von nanoskaligen Objekten und Verfahren





entwickelt. Allerdings wird dieser Prozess noch einige Jahre in Anspruch nehmen und es ist fraglich, ob sich alle Facetten der Nanotechnologie in einem einheitlichen Definitionsrahmen fassen und von angrenzenden Bereichen wie der Mikrotechnologie oder der Chemie und Werkstofftechnik eindeutig abgrenzen lassen werden.“

**Abb. 2:** Nanoplättchen aus Silber



**Aufgaben:**

- a) Recherchieren Sie nach einer derzeit allgemein gültigen und akzeptierten Definition von „Nanotechnologie“.
- b) Ordnen Sie die aufgeführten Objekte ihren realen Größen zu (s. Anlage 1).  
Überprüfen Sie Ihre Zuordnung, indem Sie sich unter <http://www.nanoreisen.de/> auf virtuelle „Nanoreisen“ begeben. Entwickeln Sie eine Erläuterung (z.B. über einen Vergleich), die auch einem Laien die „Kleinheit“ von Nanoteilchen verdeutlicht.
- c) „Enabling technology“, „nanooptimiert“, „Wertschöpfungskette“ –  
„Alles prima, aber was hat dies alles mit mir zu tun?“  
Geben Sie mindestens 2 Beispiele für Anwendungen aus der Nanotechnologie an, mit denen Sie im Alltag in Kontakt kommen können bzw. von deren Nutzen Sie heute schon profitieren.

**Ziel der Unterrichtseinheit:**

Chancen und Risiken der Nanotechnologie auf erarbeiteter Faktenbasis abschätzen können und über diese im Klassen-/Kursverband differenziert diskutieren können.

**Quellennachweis:**

**Textquelle:** Status quo-Bericht „*nano.DE-Report 2009*“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn - Berlin, 2009; [http://www.bmbf.de/pub/nanode\\_report\\_2009.pdf](http://www.bmbf.de/pub/nanode_report_2009.pdf)

**Abb. 1:** Nanofäden, -spiralen, -röllchen und -röhren aus Titandioxid

Bildquelle: <http://idw-online.de/de/newsimage7596.jpg> (Stand 22.2.12), Mit freundl. Genehmigung der Universität Leipzig.

**Abb. 2:** Nanoplättchen aus Silber

Bildquelle: <http://www.flickr.com/photos/argonne/5078784934/> (Stand 29.12.10), Urheber: Yugang Sun et al., Argonne National Laboratory & Carnegie Institute of Washington, (CC BY-NC-SA 2.0)

**Lösungshinweise zu Arbeitsblatt 1:**

a) Recherchieren Sie nach einer derzeit allgemein gültigen und akzeptierten Definition von „Nanotechnologie“.

Als Nanotechnologie können alle Prozesse und Verfahren bezeichnet werden, die sich mit der kontrollierten Herstellung, Untersuchung und Anwendung von Strukturen und Materialien in einer **Größenordnung zwischen 1 und 100 Nanometern** befassen. In diesem Größenbereich sind z.T. **drastische Eigenschaftsänderungen** von Werkstoffen und Komponenten zu verzeichnen, die bei der Nanotechnologie für eine gezielte Funktionsoptimierung technologischer Komponenten eingesetzt werden. [...]

**Zusatzinformation:**

**Physikalische Materialeigenschaften** eines Festkörpers wie elektrische Leitfähigkeit, Magnetismus, Fluoreszenz, Härte oder Festigkeit ändern sich fundamental mit der Anzahl und der Anordnung der wechselwirkenden Materiebausteine.

Auch in Bezug auf die **chemischen Materialeigenschaften** hat die Nanostrukturierung einen wesentlichen Einfluss. Beim Übergang zu nanoskaligen Strukturen steigt das Verhältnis reaktiver Oberflächenatome zu reaktionsträgen Teilchen im Inneren eines Feststoffes drastisch an. So können bestimmte nanoporöse Substanzen spezifische Oberflächen von mehr als Tausend Quadratmetern pro Gramm aufweisen.

In der **Biologie** und **Medizin** spielen nanostrukturierte Objekte ebenfalls eine entscheidende Rolle, da nahezu alle zellulären Prozesse von nanoskaligen Strukturbausteinen wie Nukleinsäuren, Proteinen und anderen Zellbestandteilen gesteuert werden. Die Nanotechnologie ermöglicht dabei zum einen die Aufklärung von Lebensprozessen durch nano-analytische Verfahren wie z.B. der hochauflösenden optischen Mikroskopie und zum anderen neuartige Ansätze in der medizinischen Therapie (z.B. im Bereich intelligenter Systeme für den gezielten Wirkstofftransport), der regenerativen Medizin (verbesserte Implantate oder Haut-

/Knochenersatz) und der Diagnostik (optimierte in-vitro-Schnelltests, Kontrastmittel etc.).

[verändert nach: Status quo-Bericht „nano.DE-Report 2009“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn - Berlin, 2009]

b) Begeben Sie sich unter <http://www.nanoreisen.de/> auf virtuelle „Nanoreisen“. Entwickeln Sie eine Erläuterung (z.B. über einen Metapher), die auch einem Laien die „Kleinheit“ von Nanoteilchen verdeutlicht.

z.B. Vergleich zwischen dem Durchmesser der Erde (etwa 12.750 km = 12.750.000 m) und dem Durchmesser einer Haselnuss (etwa 12-14 mm = 0,012-0,014 m)  
(entspricht dem Verhältnis von 1 m : 1 nm oder 1m : 10<sup>-9</sup> m)

c) „Enabling technology“, „nanooptimiert“, „Wertschöpfungskette“ –  
„Prima, aber was hat dies alles mit mir zu tun?“

Geben Sie mindestens 2 Beispiele für Anwendungen aus der Nanotechnologie an, mit denen Sie im Alltag in Kontakt kommen können bzw. von deren Nutzen Sie heute schon profitieren.

- (1) Nanoskaliges Titandioxid (TiO<sub>2</sub>) als Schutz vor ultravioletter Strahlung in modernen Sonnencremes und Textilien
- (2) schmutzabweisende Textilien durch Nanopartikel in Textilfasern
- (3) antibakterielle und mikrobielle Textilien / Wundpflaster durch Nanosilber
- (4) duftimprägnierte Textilien auf Basis von Nanocontainern (z.B. Cyclodextrine)
- (5) selbstreinigende Fassadenfarbe / Lacke mit Lotuseffekt im Hausbau bzw. in der Automobilfertigung
- (6) optisch-funktionale Oberflächen für Fassaden, Kraftfahrzeuge, Solarzellen etc.  
(z.B. zur Entspiegelung, Sonnenschutzverglasung, Antireflexbeschichtung für Instrumententafeln)
- (7) Korrosionsschutz durch nanoskalige Bindemittel bei Autokarosserien
- (8) Nanopartikel aus Platin, Rhodium und Palladium in Kfz-Abgaskatalysatoren und Brennstoffzellen
- (9) Nanostrukturierte Rußpartikel (Carbon black) als Füllstoff in Autoreifen
- (10) Kratzfeste Nanoschichten für Brillengläser
- (11) Eisen- bzw. Manganoxid-Nanopartikel als Kontrastmittel für bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik (z.B. bei Computertomographie oder Magnetresonanztomographie)
- (12) Festplattenspeicher mit GMR-Lesekopf
- (13) CNT's (=Carbon Nanotubes) in Sportgeräten (z.B. Tennisschläger von Völkl, Eishockeyschläger von Bayer)
- (14) Implantate mit Oberflächen aus Nanostrukturen führen zur Erhöhung von Lebensdauer und Verträglichkeit
- (15) Eisenoxid-Nanopartikel als Hyperthermie-Medikament in der Krebstherapie

**Hinweis:**

Schüler zählen hier möglicherweise Produkte / Alltagsgegenstände auf, die nichts mit Nanotechnologie zu tun haben:

Denn es gibt Produkte mit „nano“ im Namen (z.B. als Vorsilbe), die keine nanotechnologischen Produkte sind (z.B. 5. Generation des iPod von Apple, Autotyp des indischen Herstellers Tata Motors, 10-30-Liter Aquarium von Dennerle)

**Anlage 1: Auf Nanoreise**

Ordnen Sie folgende Objekte den Längenangaben zu:

Durchmesser eines Grippevirus, Durchmesser eines menschlichen Haares, Durchmesser eines roten Blutkörperchens, Höhe einer 1€-Münze, Länge der OH-Bindung im Wassermolekül, Durchmesser der DNA-Doppelhelix, Durchmesser einer CD-ROM, Breite des Darmbakteriums ESCHERICHIA COLI, Dicke einer Zellmembran, Durchmesser einer 1€-Münze

Länge			Auflösungsvermögen	Objekt
1 m	1 m	$10^0$ m		
10 cm	0,1 m	$10^{-1}$ m		
1 cm	0,01 m	$10^{-2}$ m		
1 mm	0,001 m	$10^{-3}$ m		
100 µm	0,0001 m	$10^{-4}$ m		
10 µm	0,00001 m	$10^{-5}$ m		
1 µm	0,000001 m	$10^{-6}$ m		
100 nm	0,0000001 m	$10^{-7}$ m		
10 nm	0,00000001 m	$10^{-8}$ m		
1 nm	0,000000001 m	$10^{-9}$ m		
0,1 nm	0,0000000001 m	$10^{-10}$ m		

Anlage 1: **Auf Nanoreise**

Ordnen Sie folgende Objekte den Längenangaben zu:

Länge			Auflösungsvermögen	Objekt
1 m	1 m	$10^0$ m		
10 cm	0,1 m	$10^{-1}$ m		Durchmesser einer CD-ROM (etwa 10 cm)
1 cm	0,01 m	$10^{-2}$ m		Durchmesser einer 1€-Münze (etwa 1 cm)
1 mm	0,001 m	$10^{-3}$ m		Höhe einer 1€-Münze (etwa 1 mm)
100 µm	0,0001 m	$10^{-4}$ m		Durchmesser eines menschl. Haares (etwa 0,1 mm)
10 µm	0,00001 m	$10^{-5}$ m		Durchmesser eines roten Blutkörperchens (10 µm)
1 µm	0,000001 m	$10^{-6}$ m		Breite des Darmbakteriums ESCHERICHIA COLI (etwa 1 µm)
100 nm	0,0000001 m	$10^{-7}$ m		Durchmesser eines Grippevirus (etwa 100 nm)
10 nm	0,00000001 m	$10^{-8}$ m		Dicke einer Zellmembran (etwa 10 nm)
1 nm	0,000000001 m	$10^{-9}$ m		Durchmesser der DNA-Doppelhelix (etwa 2 nm)
0,1 nm	0,0000000001 m	$10^{-10}$ m	Länge der OH-Bindung im Wassermolekül (etwa 0,1 nm)	

Arbeitsblatt 2: Lotus-Effekt - Nano-Titandioxid

## SAUBER DANK NANOTECH

### Praktischer Teil:

Führen Sie zunächst die Versuche 1 und 2 durch (Hinweise und Anleitung s. Anlage). Notieren Sie Ihre Beobachtungen und geben Sie jeweils eine Erklärung.

### Theoretischer Teil:

Informationen zur Lösung der Arbeitsaufträge können Sie den Artikeln „Selbstreinigende Materialien“ von Peter Forbes aus Spektrum der Wissenschaft (August 2009) sowie „Nano ist das Maß der Dinge - und harmlos?“ von Manfred Lindinger aus der Frankfurter Allgemeinen Zeitung vom 19.1.2011 (s. Informationsblatt 1).



### Aufgaben:

- Definieren Sie den Begriff „Lotus-Effekt“ und erläutern Sie dessen physikalische Grundlagen. Nennen Sie 2 Beispiele für Vorkommen und Bedeutung des Lotus-Effekts in der Natur.
- Erläutern Sie das Paradoxon des Lotus-Effekts.
- Informieren Sie sich über Einsatz und Bedeutung von Titandioxid in Alltagsprodukten (z.B. mit Hilfe eines Online-Lexikons).
- Nennen Sie 3 Eigenschaften nanometer-dünner Schichten aus Titandioxid. Erläutern Sie die Entstehung dieser Eigenschaften.
- Beziehen Sie selbst eine Position zur Verwendung von „Dingen des alltäglichen Lebens“, die Titandioxid-Nanopartikel enthalten. Berücksichtigen Sie dabei auch die aktuelle Faktenlage (s. Informationsblatt 1).
- Erläutern Sie Aufbau, Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten so genannter Nano-schwämme an einem Beispiel.

### Zusatzaufgabe (optional):

Die mittlerweile verbotenen Ganzkörperanzüge für Hochleistungsschwimmer führten zur deutlichen Verbesserung selbst lang gültiger Weltrekorde. Recherchieren Sie, ob diese Schwimmanzüge nanotechnologische Produkte sind?

**Informationsblatt 1:**

Artikel aus *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, von Manfred Lindinger, 19. Jan. 2011 (gekürzt)

## **Nano ist das Maß der Dinge - und harmlos?**

**Es ist pure Chemie in Lebensmitteln und Waren: Nanopartikel sind „in“, die Regierung schießt Millionen in die Nanotechnik. Doch was ist mit den Risiken? Beispiel Titandioxid und das Wissen im Umweltbundesamt.**

Ob in Medizinprodukten, Elektro- und Sportgeräten, Textilien, Kosmetika oder Lebensmitteln – maßgeschneiderte Nanopartikeln sind wegen ihrer geringen Größe physikalisch und chemisch etwas Besonderes und deshalb schon praktisch allgegenwärtig. Mindestens zweihundert Alltagsprodukte hat der Bund für Umwelt und Naturschutz in einer eigens geführten Datenbank gelistet. [...]

Eine andere Substanz, die als nanometergroßes Pigment bereits breite Anwendung gefunden hat, ist Titandioxid. Der Lebensmittelzusatzstoff E171 wird überall dort verwendet, wo ein strahlend weißer optischer Eindruck erzielt werden soll, also etwa in Wandfarben, Tabletten, Zahncremes oder in Genussmitteln. Wegen seiner photokatalytischen Eigenschaften ist das Material auch ein effektiver UV-Filter in Sonnencremes. Rüdiger Faust und sein Team an der Universität Kassel entwickeln daraus eine Farbe, die dafür sorgen soll, dass an gestrichenen Oberflächen künftig die massenhaft aus Abgasen entweichenden Stickoxide photokatalytisch „neutralisiert“.

Während freilich die Forschung und die Industrie den Nanokosmos immer besser zu nutzen wissen, ist noch immer nicht geklärt, ob und welche Gefahren und Risiken für Umwelt und Gesundheit von den synthetisch hergestellten Nanopartikeln ausgehen. [...]

Tatsächlich ist es noch immer schwierig, verbindliche Aussagen über die Risiken synthetischer Nanopartikel abzuschätzen. Denn man kann nicht auf die Eigenschaften von Nanoteilchen schließen, in dem man lediglich vom makroskopischen Festkörper auf die nanoskopische Ebene herunter skaliert. Chemisches Reaktionsvermögen, katalytische und biologische Eigenschaften wie Beweglichkeit hängen zwar vom Stoff ab, variierten zum Teil aber erheblich mit der Teilchengröße. So können hundert Nanometer große Partikeln aus einem bestimmten Material sich chemisch vollkommen passiv verhalten, während sich die fünfzig oder zehn Nanometer großen Pendanten als äußerst reaktiv oder gar giftig erweisen.

So zeigt die jüngste vom Umweltbundesamt in Auftrag gegebenen Studie an Ratten, dass Partikeln aus Titandioxid von etwa 20 Nanometern Größe, werden sie eingeatmet, die Luft-Blut-Schranke überwinden und sich innerhalb von Tagen in fast allen Organen anreichern können. Ein Verhalten, das man bei größeren Titandioxid-Partikeln so bislang nicht beobachtet hat. [...] Bei Partikelgrößen zwischen 200 bis 300 Nanometer ist der Anteil,

der sich im Körper anreichert, verschwindend gering, wie frühere Studien gezeigt haben. Je kleiner die Partikeln sind, desto größer ist offenkundig der Anteil, der die Blut-Luft-Schranke überwinden kann. Die Forscher um Kreyling haben die Tiere zwei Stunden lang einem konstanten Aerosolstrom mit fein verteilten und radioaktiv markierten Titandioxidpartikeln ausgesetzt. Da kommerzielle Titandioxid-Partikeln für die Versuche nicht geeignet waren – sie haben die Neigung zu verklumpen und weisen eine ausgedehnte Größenverteilung auf – haben sie die zwanzig Nanometer großen Titandioxid-Teilchen mit einem speziellen Verfahren selbst hergestellt. [...] Es zeigte sich, dass etwa zwei Prozent der ursprünglich in der Lunge vorhandenen Nanopartikeln, die Blut-Luft-Schranke überwinden konnten.

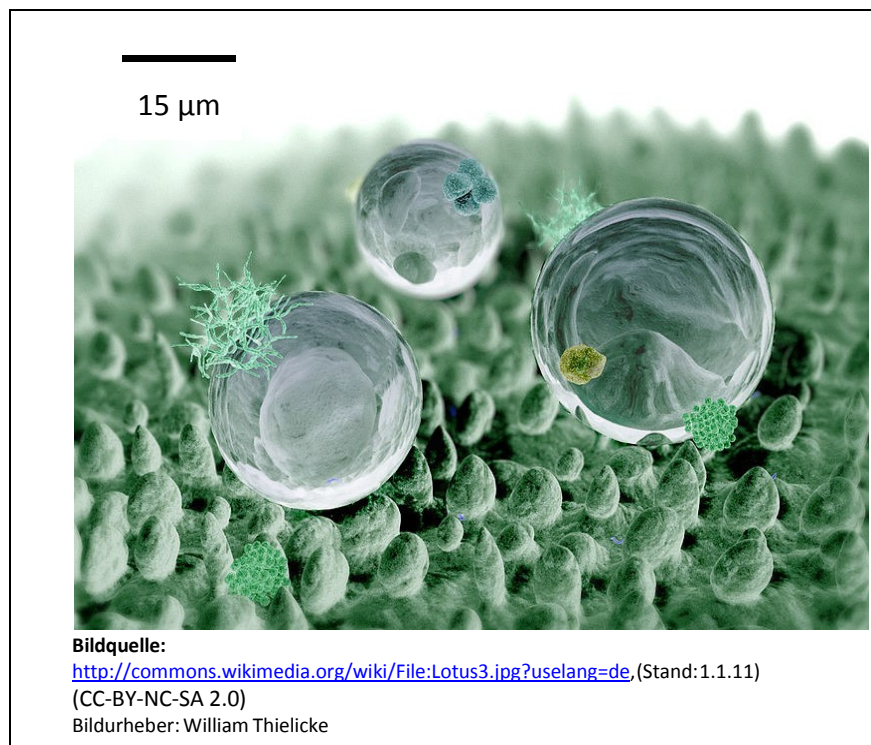
Bereits vier Stunden nach Exposition war Titandioxid in fast allen Organen nachzuweisen, neben der Lunge – dort war die höchste Konzentration – in der Leber, Niere, Milz. Sogar im Herzen und dem Gehirn konnten nennenswerte Konzentrationen festgestellt werden. [...] Über toxikologische Folgen für den Organismus des angereicherten Titandioxids, können die Forscher derzeit noch keine Aussagen machen. [...] *man sollte* den Weg der Nanopartikeln vom Mund in den Körper noch mehr beachten als bisher.

**Lösungshinweise zu Arbeitsblatt 2:**

- a) Definieren Sie den Begriff „Lotus-Effekt“ und erläutern Sie dessen physikalische Grundlagen. Nennen Sie 2 Beispiele für Vorkommen und Bedeutung des Lotus-Effekts in der Natur.

Der **Lotuseffekt** bezieht sich auf die äußerst geringe Besetzbarkeit und hohe Selbstreinigung biologischer Oberflächen, unter anderem bei der Lotuspflanze. Wasser perlt in Tropfen ab und nimmt dabei auch alle Schmutzpartikel auf der Oberfläche mit. Auf der Blüte und den Blättern wird selbst extrem gut haftendes Farbpulver von Wasser einfach weggespült, nicht einmal Klebstoff auf Wasserbasis bleibt an der Oberfläche haften. Auch andere Pflanzen, wie beispielsweise die Kapuzinerkresse, Kohl, Schilfrohr, Akelei, Tulpe und Banane zeigen diesen Effekt.

Verantwortlich dafür ist eine komplexe mikro- und nanoskopische Architektur der Oberfläche, die die Haftung von Schmutzpartikeln minimiert.



**Abb. 5:**  
Computergrafik  
der Oberfläche  
des Lotusblatts

**Funktionsprinzip**

Wassertropfen haben, aufgrund ihrer hohen Oberflächenspannung, die Tendenz zur Minimierung ihrer Oberfläche und versuchen daher, eine Kugelform zu erreichen. Bei Kontakt mit einer Oberfläche wirken Adhäsionskräfte (Anhaftungskräfte an die Oberfläche), so dass es zur Benetzung derselben kommt. Abhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche und der Oberflächenspannung der Flüssigkeit kann es zu vollständiger (spreiter) oder unvollständiger Benetzung kommen.

Die Ursache der Selbstreinigung liegt in einer hydrophoben (wasserabweisenden) Doppelstruktur der Oberfläche. Dadurch wird die Kontaktfläche und damit die Adhäsionskraft zwischen Oberfläche und den auf ihr liegenden Partikeln und Wassertropfen so stark verringert, dass es zur Selbstreinigung kommt. Diese Doppelstruktur wird aus einer charakteristisch geformten Epidermis, deren äußerste Schicht Kutikula heißt, und sich auf ihr befindenden Wachsen gebildet. Die Epidermis der Lotuspflanze bildet etwa 10 bis 20 Mikrometer hohe und 10 bis 15 Mikrometer voneinander entfernte Papillen, auf die die sogenannten *epikutikularen Wachse*



aufgelagert sind. Diese aufgelagerten Wachse sind hydrophob und bilden den zweiten Teil der Doppelstruktur. Somit hat Wasser nicht mehr die Möglichkeit, in die Zwischenräume der Blattoberfläche zu gelangen, was zur Folge hat, dass sich die Kontaktfläche zwischen Wasser und Oberfläche drastisch verringert.

Die Hydrophobie von Oberflächen wird mit dem Kontaktwinkel bestimmt. Je höher der Kontaktwinkel, desto hydrophober die Oberfläche. Oberflächen mit einem Kontaktwinkel  $<90^\circ$  werden als hydrophil, solche mit einem Kontaktwinkel  $>90^\circ$  als hydrophob bezeichnet. Bei einigen Pflanzen können Kontaktwinkel von bis zu  $160^\circ$  (Superhydrophobie) erreicht werden. Das bedeutet, dass nur etwa 2 bis 3 % der Tropfenoberfläche mit der Oberfläche der Pflanze in Kontakt stehen, diese also eine extrem geringe Besetzbarkeit besitzt. Durch die Doppelstruktur der Lotospflanze können

ihre Blätter einen Kontaktwinkel von etwa  $170^\circ$  erreichen, wodurch ein Tropfen eine Auflagefläche von nur etwa 0,6% hat. Die Adhäsion zwischen Blattoberfläche und Wassertropfen ist dabei so gering, dass das Wasser leicht abperlen kann. Aufliegende Schmutzpartikel – die ebenfalls nur eine kleine Kontaktfläche besitzen – werden dadurch mitgeführt und weggespült. Selbst hydrophobe Schmutzpartikel werden von der Pflanzenoberfläche abgewaschen, weil deren Adhäsion zur Pflanzenoberfläche geringer ist als zum Wassertropfen.

Die biologische Bedeutung des Lotuseffekts liegt für die Pflanze im Schutz vor einer Besiedlung durch Mikroorganismen, Krankheitserreger oder Keime, beispielsweise Pilzsporen, oder vor Bewuchs mit Algen. In ähnlicher Weise gilt dies auch für Tiere wie Schmetterlinge, Libellen und andere Insekten: Mit ihren Beinen können sie nicht jede Stelle ihres Körpers zum Säubern erreichen, und umso vorteilhafter ist es, wenn Feuchte und Schmutz eigenständig abperlen. Eine weitere positive Wirkung der Selbstreinigung ist die Verhinderung von Verschmutzungen, die den Lichteinfall und damit die Fotosynthese vermindern und Spaltöffnungen verschließen könnten.

(Textquelle: verändert nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Lotuseffekt>, Stand: 1.1.11)

*b) Erläutern Sie das Paradoxon des Lotus-Effekts.*

Aus Erfahrung ergibt sich folgender Zusammenhang: je glatter eine Oberfläche ist, desto leichter lässt sie sich reinigen / sauber halten. Schmutz setzt sich an Unebenheiten normalerweise fest. Gerade aber mikroskopisch kleine Unebenheiten an der Oberfläche sorgen für den extrem Wasser abstoßenden und selbstreinigenden Effekt bestimmter Pflanzenblätter.

*c) Informieren Sie sich über Einsatz und Bedeutung von Titandioxid in Alltagsprodukten.*

Unter den anorganischen Pigmenten besitzt  $\text{TiO}_2$  eine besonders große Bedeutung, was durch seinen hohen Anteil von ca. 65% am gesamten Weltmarkt für Pigmente eindrucksvoll dokumentiert wird. Der Grund für die jährliche Produktion von mehr als drei Millionen Tonnen Titandioxid liegt in seinen einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften und den damit verbundenen vielfältigen Einsatzmöglichkeiten.

Titandioxid findet überwiegend als weißes Pigment Verwendung. Es ist chemisch stabil, ungiftig und unter der Kennzeichnung E171 als Lebensmittelzusatzstoff beispielsweise in Zahnpasta, Kaugummis und Hustenbonbons anzutreffen, sowie als Pigment in Kosmetika. Auch in der Ölmalerei findet es als Titanweiß teilweise Verwendung. Im technischen Bereich findet es aufgrund seiner hohen Deckkraft Verwendung in Farben und Lacken, Textilien, in Papier sowie als UV-Blocker in Sonnencremes und Aufheller in Arzneimitteln. Auf den Halbleitereigenschaften des Titandioxids basiert die Farbstoffsolarzelle (so genannte Grätzel-Zelle).

Titandioxid wird ebenfalls in Keramikcondensatoren eingesetzt.

Titandioxid ist Hauptbestandteil der Katalysatoren, die für die industrielle Entstickung von Rauchgasen eingesetzt werden.

TiO<sub>2</sub> wird auch im Bereich der Veredelung von Fliesen oder in Putzen verwendet, was dazu führt, dass die damit behandelten Oberflächen schmutzabweisend werden.

Der fotokatalytische Effekt von TiO<sub>2</sub>-Nanopartikeln wird in Verbindung mit der UV-Aktivität für „selbstreinigende“ Oberflächen genutzt (fotokatalytische Selbstreinigung). In einer speziellen Einarbeitung in Farben soll das TiO<sub>2</sub> bei Lichteinfall aktiv bleiben. Damit dient der fotokatalytische Mechanismus des Ti<sup>(III)</sup>O<sup>+</sup>/Ti<sup>(IV)</sup>O<sub>2</sub> neben der Oberflächenreinigung auch der Luftreinigung. So kann in belasteter Zimmerluft oder an vielbefahrenen Straßen durch Schadstoffersetzung eine geringfügige Verbesserung der Atemluft erreicht werden.

Eine Möglichkeit, Fasern aus Wolle, Baumwolle oder Hanf mit dieser Reinigungswirkung zu versehen, wurde durch die Kopplung über Carboxyl-Gruppen erreicht. Somit ist es möglich, Textilien durch Hydroxyl-Radikale gegen Flecke und gegen Krankheitskeime zu schützen.

(Textquelle: verändert nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Titandioxid>, Stand: 1.1.11)

d) Nennen Sie 3 Eigenschaften nanometer-dünner Schichten aus Titandioxid. Erläutern Sie die Entstehung dieser Eigenschaften.

1. *fotokatalytisch:*

Bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht zerlegen wenige Nanometer dicke Titandioxidschichten organische Verbindungen – auch solche in den Zellwänden von Bakterien – in Kohlendioxid und Wasser.

Diese Eigenschaft hängt damit zusammen, dass Titandioxid ein Halbleiter ist. Bei solchen Stoffen trennt eine verbotene Zone das so genannte Valenzband mit gefüllten Energieniveaus vom leeren Leitungsband. Lichtquanten können Elektronen über diese Bandlücke heben. Im Fall von Titandioxid erfordert das ein Photon aus dem Ultraviolettbereich mit einer Wellenlänge von etwa 388 Nanometern.

2. *superhydrophil:*

Nach Bestrahlung mit ultraviolettem Licht zeigen wenige Nanometer dicke Titandioxidschichten vollständige Benetzbarkeit: Der Kontaktwinkel für Wasser beträgt null Grad.

Das UV-Licht entfernt einige der Sauerstoffatome an der Oberfläche des Titandioxids. Dadurch entsteht ein Mosaik von nanometergroßen Bereichen, die Hydroxylgruppen anlagern, was die Superhydrophilie hervorruft.

3. *selbstreinigend - antimikrobiell:*

Dünne Beschichtungen aus UV-bestrahltem Titandioxid zeigen die genau entgegengesetzte Eigenschaft des Lotusblattes – Superhydrophilie –, weisen jedoch ebenfalls Schmutz ab und wirken zudem antimikrobiell.

UV-Strahlen erzeugen in Titandioxid freie Elektronen und Löcher, das heißt positiv geladene Fehlstellen (1). Die Elektronen bilden mit Sauerstoffmolekülen aus der Luft negativ geladene Superoxidanionen (2a) und die Löcher mit Hydroxidionen im Wasser neutrale Hydroxylradikale (2b). Diese hochreaktiven Spezies töten Mikroben und zerstören organische Stoffe auf der Oberfläche (3). Die UV-Strahlung verändert auch die Struktur des Titandioxidfilms, so dass er superhydrophil wird (4) und es Wasser ermöglicht, Schmutz abzuwaschen (5).

- e) *Beziehen Sie selbst eine Position zur Verwendung von „Dingen des alltäglichen Lebens“, die Titandioxid-Nanopartikel enthalten. Berücksichtigen Sie dabei auch die aktuelle Faktenlage (s. Informationsblatt 1).*

Die aktuelle Faktenlage ist noch diffus: einerseits können Partikel aus Titandioxid von etwa 20 Nanometern Größe, wenn sie eingeatmet werden, die Luft-Blut-Schranke überwinden und sich innerhalb von Tagen in fast allen Organen anreichern. Andererseits verklumpen Titandioxid-Nanopartikel in den kommerziellen Produkten, so dass sie so groß werden, dass sie nicht / kaum in den Körper gelangen können. Auch wenn sich eingeatmete Titandioxid-Nanopartikel nach kurzer Zeit in vielen Organen nachweisen lassen, kann über toxikologische Folgen der Anreicherung derzeit keine Aussage gemacht werden. Ob es andere Wege gibt, wie Titandioxid-Nanopartikel in den Körper gelangen können (z.B. über die Haut oder Magen-Darm), muss noch untersucht werden.

Aufgrund dieser Unsicherheit würde ich nur solche kosmetische oder Pflegeprodukte (z.B. Zahncreme, Sonnenschutzcreme) verwenden, in denen Titandioxid in unbedenklichen Partikelgrößen vorliegt oder nicht vorhanden ist.

- f) *Erläutern Sie Aufbau, Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten so genannter Nano- schwämme an einem Beispiel.*

Alternierende Schichten aus einem Polymer (z.B. Polyallylaminhydrochlorid mit positiv geladenen Ammoniumgruppen) und Siliziumdioxid-Nanoteilchen bilden eine extrem feinporige superhydrophile Struktur, mit der sich Glas und andere Materialien überziehen lassen. Die Oberfläche ist wie beim Lotusblatt uneben im Nanometermaßstab. Die Siliziumdioxidpartikel sind wegen anhaftender Hydroxylgruppen zugleich stark hydrophil. Deshalb können die von ihnen gebildeten Nanoporen wie ein Schwamm Wasser aufsaugen und es im Nu von der Oberfläche entfernen (s. Grafik unten links).

Ein mit diesem Multischichtfilm überzogenes Glasblättchen bleibt klar, wenn es aus dem Kühlschrank in warme, feuchte Luft gebracht wird. Unbehandeltes Glas beschlägt dagegen (s. Foto unten rechts).

Sie verhindern nicht nur das Beschlagen, sondern sind auch transparent und noch dazu antireflexiv – also ideal für Brillen, Kameraoptiken, Windschutzscheiben von Fahrzeugen.



**Abb. 6:**

**Bildquelle:** „Selbstreinigende Materialien“, Spektrum der Wissenschaft, Aug. 2009

Grafik von Ann Sanderson (links)

Foto von Michael Rubner, Massachusetts Institute of Technology

**Zusatzaufgabe (optional):**

*Die mittlerweile verbotenen Ganzkörperanzüge für Hochleistungsschwimmer führten zur deutlichen Verbesserung selbst lang gültiger Weltrekorde.*

*Recherchieren Sie, ob diese Schwimmanzüge nanotechnologische Produkte sind?*

Der Anzug ist eine Wissenschaft, er wurde mit neuester Technologie entwickelt, aber nicht Nanotechnologie. Sein Geheimnis: Der Anzug ist aus einem Nylon-Lycra-Material oder dem Kunststoff Polyurethan, das mit Hilfe von Ultraschall verschweißt wird. Forscher haben in einem Windkanal die Stellen des Körpers ausgemacht, wo das Wasser besonders viel Widerstand leistet. An eben jenen Stellen, die wie nahezu der gesamte Körper vom Anzug eingenommen wird, hat der Wunderanzug keine Nähte. Mit einer Art Stützkorsett wird der Körper der Athleten außerdem so zusammengedrückt, dass die Muskeln härter und stabiler sind und somit unempfindlicher auf den Wasserwiderstand reagieren. Das macht die Schwimmer schneller.

**Versuch 1: Selbstreinigende Oberflächen**



**Abb. 3:** Indische Lotosblume  
(NELUMBO NUCIFERA)

Bildquelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lotosblumen>  
(gemeinfrei)



**Abb. 4:** Große Kapuzinerkresse  
(TROPAEOLUM MAJUS)

Bildquelle: [http://www.flickr.com/photos/wok\\_design/2698641657/sizes/m/in/photostream/](http://www.flickr.com/photos/wok_design/2698641657/sizes/m/in/photostream/), (CC BY-NC-SA 2.0)  
Bildurheber: WoK111 (Stand 1.1.11)

**Material:**

Blätter von Kohlrabi, Kapuzinerkresse oder Blütenblätter von Tulpen, Becherglas, Honig, Gesteinsmehl, Bleistift + Spitzer, Pipette, Wasser  
Kerze, Objektträger, Pipette, Wasser, Seifenlösung, Auffangwanne

**Versuchsdurchführung:**

- (A) - Blatt in Becherglas mit Wasser eintauchen und wieder herausziehen.  
 - Einen Tropfen fließenden Honig auf die Blattoberfläche aufbringen und das Blatt senkrecht stellen.  
 - Gesteinsmehl auf Blattoberfläche streuen und 1 Tropfen Wasser auftropfen.  
 - Graphitreste vom Bleistiftspitzen auf Blattoberfläche streuen und 1 Tropfen Wasser auftropfen.
- (B) - Ein Objektträger wird knapp über eine Kerzenflamme gehalten, bis sich die halbe Oberfläche schwärzt. Kurz abkühlen lassen. Je einen möglichst kleinen Wassertropfen aus ca. 5 cm Höhe auf die geschwärzte Hälfte und die unbehandelte Hälfte tropfen. Objektträger anschließend in eine leichte Schräglage bringen.  
 - Einen Tropfen Seifenlösung auf die geschwärzte Oberfläche aufbringen und eintrocknen lassen. Objektträger schräg halten und danach wieder einen Tropfen Wasser auf die geschwärzte Oberfläche auftropfen.

**Beobachtungen und Erläuterungen:**

- Notieren Sie Ihre Beobachtungen und erläutern Sie diese (Informationen finden Sie im Artikel „Selbstreinigende Materialien“ von Peter Forbes aus Spektrum der Wissenschaft (August 2009)).

## Versuch 2: Herstellung nanoskaliger Titandioxid-Partikel

### Chemikalien: Titanchlorid

( $\text{TiCl}_4$ ) Aceton

Diethylenglykol (Dihydroxydiethylether;  $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_3$ )

dest. Wasser

### Material:

100 ml Dreihalskolben mit Stopfen, Pasteurpipetten, Trockenschrank, Becherglas, Thermometer, beheizbarer Magnetrührer, Magnetfisch, Laserpointer

### Versuchsdurchführung:

- 60 ml Diethylenglykol werden in einen 100 ml Dreihalskolben überführt und unter Rühren auf  $60^\circ\text{C}$  erhitzt.
- Die Zugabe von 2 ml  $\text{TiCl}_4$  mittels Pasteurpipette erfolgt zügig, da  $\text{TiCl}_4$  durch Luftfeuchtigkeit sehr schnell hydrolysiert (**Achtung:** Es kommt zur Bildung von HCl-Dämpfen).
- Die Temperatur der nun gelb gefärbten Reaktionslösung wird auf  $75^\circ\text{C}$  erhöht und die Lösung dann mit 1 ml  $\text{H}_2\text{O}$  versetzt.
- Den Reaktionsansatz auf  $160^\circ\text{C}$  erhitzen und weitere 6 Std. rühren lassen.
- Den Reaktionsansatz danach auf  $50^\circ\text{C}$  abkühlen lassen.
- Es hat sich ein weißer Niederschlag gebildet, der mit Aceton gewaschen wird.
- Den gewaschenen weißen Niederschlag bei  $40^\circ\text{C}$  im Trockenschrank trocknen.
- Das getrocknete Pulver hat eine hell gelbe Färbung und ist in Wasser dispergierbar.

### Beobachtungen und Erläuterungen:

- Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
- Formulieren Sie die Reaktionsgleichung.
- Bestrahlen Sie die Dispersion mit nanoskaligen Titandioxid-Partikeln mit einem Laserpointer und vergleichen Sie dies mit destilliertem Wasser. Erläutern Sie den Unterschied (s. **Tippkarte 1**).

TIPPKARTE 1:

	<b>Sediment- bildung</b>	<b>Tyndall- Effekt</b>	<b>Durchmesser der Teilchen</b>	<b>Beispiel aus Alltag</b>
Lösung	nein	keine Lichtstreuung	kleiner 1 nm	Mineralwasser, Tee
Kolloidale Lösung - Dispersion	nein	Lichtstreuung	1 - 1000 nm	Milch, Tinte
Suspension	ja	Lichtstreuung	größer 1000 nm	Schlammwasser, Orangensaft mit Fruchtfleisch

### Lösungshinweise zu Versuch 1: Selbstreinigende Oberflächen

#### ad (A): Beobachtungen und Erläuterungen

- das Blatt erscheint an seiner Oberfläche silbrig glänzend, weil (sich) aufgrund der Oberflächenstrukturen eine dünne Luftschicht ausbildet / festgehalten wird. Das herausgezogene Blatt ist trocken; Wasser perlt aufgrund der extrem hydrophoben Blattoberfläche vollständig ab.
- auch der Honig perlt vollständig ab und klebt nicht an, weil die Blattoberfläche extrem hydrophob ist.
- der Wassertropfen zieht eine saubere Spur durch den Staubbelag des Gesteinmehls (aufgrund der Noppenstruktur nur geringe Kontaktfläche zwischen Staubpartikel und Blattoberfläche; Wechselwirkungen der Staubpartikel mit Wasseroberfläche größer als mit Blattoberfläche). Der Staub ist im Wassertropfen eingeschlossen (Staubpartikel sind hydrophil).
- der Wassertropfen zieht eine saubere Spur durch den Graphitbelag (aufgrund der Noppenstruktur nur geringe Kontaktfläche zwischen Graphitpartikel und Blattoberfläche; Wechselwirkungen der Graphitpartikel mit Wasseroberfläche größer als mit Blattoberfläche). Graphit verbleibt an der Oberfläche des Wassertropfens (Graphit ist hydrophob).

#### ad (B): Beobachtungen und Erläuterungen

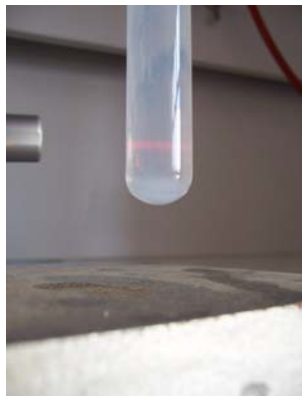
- Auf der geschwärzten Stelle kugelt sich Wasser zum Tropfen ab. Bei Schräglage perlt der Tropfen ab und nimmt etwas Ruß mit.  
Beim Verbrennen der Kerze entweichen unverbrannte Paraffindämpfe, die sich am Glas als Nanopartikel absetzen, vergleichbar den Noppen am Blatt. Paraffin ist hydrophob. Rußpartikel werden durch die Oberflächenspannung an der Oberfläche des Wassertropfens festgehalten und abgetragen.
- Der Tropfen Seifenlösung breitet sich flächig aus.  
Ruß ist hydrophob und zeigt van-der-Waals-Wechselwirkungen mit dem unpolaren Kohlenwasserstoffrest des Seifenanions. Dadurch verteilt sich die Seifenlösung auf der Rußfläche. Wird wieder ein Wassertropfen aufgetropft, zieht das negativ geladene Seifenanion den positiven Pol des Wasserdipols an, die Oberflächenspannung wird verringert und der Wassertropfen zerfließt.

### Lösungshinweise zu Versuch 2: Nanopartikel aus Titandioxid

**Reaktionsgleichung:**  $\text{TiCl}_{4(s)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{TiO}_{2(s)} + 4\text{HCl}_{(aq)}$

#### Beobachtungen und Erläuterungen:

Der Lichtstrahl des Laserpointers ist in der Dispersion mit  $\text{TiO}_2$ -Nanopartikeln seitlich als scharf abgegrenzte Linie sichtbar (= *Tyndall-Effekt*: entsteht durch Streuung von Licht an submikroskopischen Schwebeteilchen, mit Abmessungen ähnlich der Lichtwellenlänge, die in einer Flüssigkeit oder einem Gas verteilt sind).



**Abb.:**

*links:* Dispersion mit Nanopartikeln zeigt Tyndall-Effekt (Teilchen > 1nm) (eigene Quelle)

*rechts:* reines Wasser od. Salzlösungen zeigen keine Lichtstreuung (Teilchen < 1nm) (eigene Quelle)



**Arbeitsblatt 3: Nano-Eisen**

## Alter Wein in neuen Schläuchen?

### Weit gefehlt: Nanoteilchen überraschen mit neuen Eigenschaften

In einem Filmbericht über die *Lawrence Berkeley National Labs* in Kalifornien, USA, werden Aspekte des Wissenschaftsfelds „Nanotechnologie“ beleuchtet. Unter nachfolgend aufgeführter Internetadresse ist dieser Bericht (Gesamtdauer: 10 min. 29 sec.) zu sehen:

<http://www.youtube.com/watch?v=S4CjZ-OkGDs&playnext=1&list=PL27CA5389D600D07A&index=5>

**Hörauftrag:**

- Schauen Sie sich das Video mind. 2 Mal an und versuchen Sie so viele Aussagen heraus- zu finden, auch wenn Sie nicht alles wörtlich verstehen.
- Hören Sie beim ersten Mal nur zu.
- Erst beim 2. Mal Notizen in Englisch zu folgenden Rubriken machen:

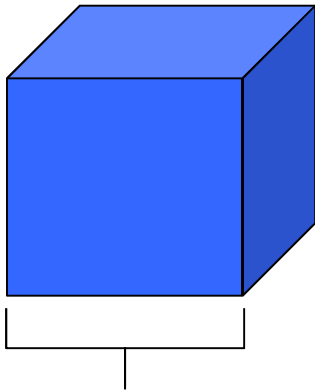
size and impact of nano particles	use and potential of nano particles	risks / risk factors

Die Nanotechnologie wird u.a. deshalb als zukunftsweisend erachtet, weil Strukturen in der Größenordnung von milliardstel Metern einem Material oft ganz neue Eigenschaften verleihen. Diese Größenordnung bezeichnet einen Grenzbereich, in dem die Oberflächeneigenschaften gegenüber den Volumeneigenschaften der Materialien eine immer größere Rolle spielen und zunehmend quantenphysikalische Effekte berücksichtigt werden müssen. In der Nanotechnologie stößt man also zu Längenskalen vor, auf denen besonders die Größe die Eigenschaften eines Objektes bestimmt. Man spricht von „größeninduzierten Funktionalitäten“.

**Praktischer Teil:**

Führen Sie zunächst Versuch 3 durch (Hinweise und Anleitung s. Anlage).  
Notieren Sie Ihre Beobachtungen und geben Sie jeweils eine Erklärung.

**Exkurs: Spezifische Oberfläche**



Kantenlänge = 1 cm  
 -> Volumen = 1 cm<sup>3</sup>  
 -> Oberfläche = 6 cm<sup>2</sup>

Spezifische Oberfläche = Oberfläche / Volumen

Kantenlänge	Volumen	Oberfläche	Oberfl./Vol.
1 cm	1 cm <sup>3</sup>	6 cm <sup>2</sup>	6
2 cm	8 cm <sup>3</sup>	24 cm <sup>2</sup>	3
4 cm	64 cm <sup>3</sup>	96 cm <sup>2</sup>	1,5
8 cm	512 cm <sup>3</sup>	384 cm <sup>2</sup>	0,75
10 cm	1000 cm <sup>3</sup>	600 cm <sup>2</sup>	0.6

Die volumenbezogene spezifische Oberfläche gibt an, welche Oberfläche ein Kubikmeter eines Materials besitzt. Ein Würfel mit einer Kantenlänge von 1 cm besitzt ein Volumen von 1 cm<sup>3</sup> und eine Oberfläche von 6 cm<sup>2</sup>. Wird dieser Würfel nun in kleinere Würfel mit einer Kantenlänge von 1 mm zerlegt, so entstehen 1000 kleine Würfel die alle zusammen immer noch ein Volumen von 1 cm<sup>3</sup> besitzen, jedoch eine Gesamtoberfläche von 60 cm<sup>2</sup> aufweisen.

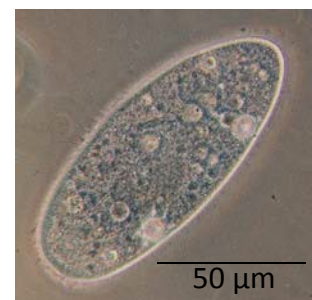
Bei chemischen Reaktionen von Stoffen in verschiedenen *Phasen* (z.B. Mehlstaub in Luft) können nur die Teilchen miteinander reagieren, die an der Grenzfläche miteinander zusammenstoßen. Die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen wird u.a. auch vom Zerteilungsgrad der Reaktionspartner bestimmt. Dabei gelten folgende Zusammenhänge:

- ➔ höherer Zerteilungsgrad = größere Oberfläche  
 (Je kleiner ein Partikel, desto höher der relative Anteil der Atome/Moleküle, die sich direkt an der Oberfläche befinden.)
- ➔ größere Oberfläche = mehr Zusammenstöße von Teilchen
- ➔ größere Anzahl von Teilchenzusammenstößen = höhere Reaktionsgeschwindigkeit

Zudem: Die Atome an der Oberfläche sind einer geringeren Bindungskraft aus dem Inneren des Partikels ausgesetzt.

Der Zusammenhang von Geschwindigkeit einer Reaktion und vorhandener Oberfläche wird auch an Beispielen aus der Natur deutlich:

(A) Einzellige Organismen sind begrenzt in ihrer Größe (meist Zelldurchmesser im Bereich von 1-100 µm). Ein für Lebensvorgänge notwendiger Stoffaustausch mit der Umgebung ist ausschließlich über die Zelloberfläche möglich.

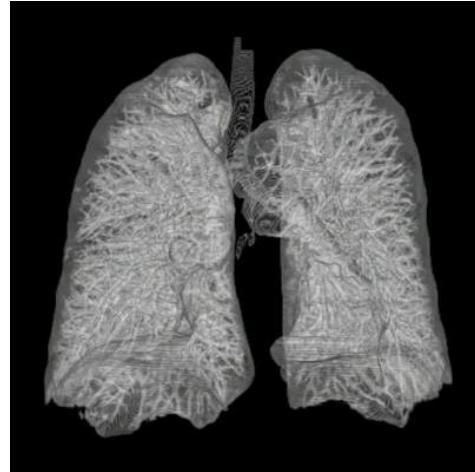
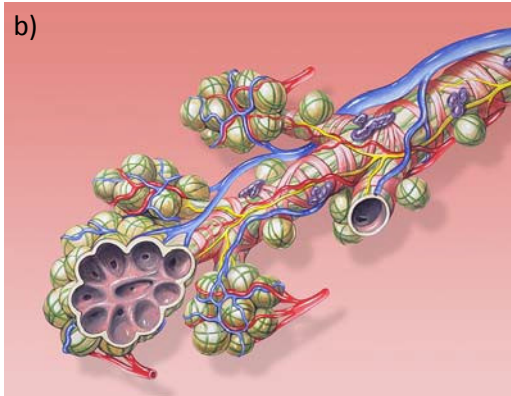


**Abb. 7:** Pantoffeltierchen  
(PARAMECIUM AURELIA)

**Glossar:**

*Phase:* ein räumlicher Bereich, in dem die bestimmenden physikalischen Parameter und die chem. Zusammensetzung der Materie homogen, d.h. konstant und einheitlich sind: z.B. Milch besteht hauptsächlich aus einer Emulsion kleiner Fetttropfen in Wasser. Sie stellt also ein zweiphasiges System mit einer Wasser- und einer Fettphase dar.

- (B) Vielzellige Organismen besitzen im Innern Organe mit riesigen Oberflächen (z.B. Lunge =  $90\text{m}^2$ ), die durch die Vielzahl kleiner Zellen zustande kommen und einen effizienten Stoffaustausch ermöglichen.



**Abb. 8:** a) 3D-Rekonstruktion menschlicher Lunge  
b) Grafische Darstellung von Lungenalveolen



### Aufgaben:

- Ein Würfel mit einer Kantenlänge von  $1\text{ cm}$  besitzt ein Volumen von  $1\text{ cm}^3$  und eine Oberfläche von  $6\text{ cm}^2$ . Berechnen Sie die Gesamtoberfläche, wenn der Würfel mit Kantenlänge von  $1\text{ cm}$  in kleinere Würfel mit Kantenlängen von  $1\text{ nm}$  zerteilt wird.
- Am 19. Januar 2011 erschien in der **Frankfurter Allgemeinen Zeitung** (FAZ) ein Artikel von Rüdiger Schacht mit dem Titel „Das alte Meer und der Müll“, in dem die Sorge um die massenhafte Verbreitung von Plastikmüll in den Weltmeeren und deren ökologischen Folgen thematisiert wird (s. Informationsblatt 2).  
Erläutern Sie die Verbindung dieser Problematik mit dem Unterrichtsthema „Neue Eigenschaften von Nanopartikeln“.
- Schlagen Sie 2 Strategien zur Lösung des in Aufgabe b) erörterten Problems vor. Stellen Sie dar, wie Sie persönlich einen Beitrag leisten könnten.

### Quellennachweis:

#### Text- u. Informationsquelle:

Swiss Nano-cube – Die Innovationsgesellschaft, St. Gallen, <http://www.swissnanocube.ch/nano-teach-box/>, Dez. 2010

#### Bildquellen:

**Abb. 7:** Pantoffeltierchen: <http://de.wikipedia.org/wiki/Pantoffeltierchen>, (CC-BY-NC-SA 3.0), Bildurheber: barfooz,

**Abb. 8:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Lunge>

- Menschliche Lunge, (CC-BY-NC-SA 2.0), Bildurheber: Andreas Heinemann
- Lungenalveolen, (CC-BY-NC-SA 2.5), Bildurheber: Patrick J. Lynch

## Informationsblatt 2:

Artikel aus *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, von Rüdiger Schacht, 19. Jan. 2011 (verändert/gekürzt)

## Das alte Meer und der Müll

**Riesige Strudel mit Plastikabfällen und beunruhigende Befunde über zerkleinerte Kunststoffteile in Tieren: Die Sorge um die marinen Müllkippen im Pazifik und im südwestlichen Atlantik wachsen.**

Von der Wiege des Lebens zur Müllkippe der Industrienationen - so kann man die Geschichte der Ozeane heute schreiben. Neben den Zeugnissen der Entstehung des Lebens auf unserem Planeten und längst vergangener Kulturen, hinterlässt der moderne Mensch in den Meeren zusätzlich zur Überfischung eine weitere verheerende Spur im Meer: Müll.

Ein Müllstrudel von der Größe Mitteleuropas dreht sich im Nord-Pazifik, ein weiterer im Südwest-Atlantik. Die Tiere des Ozeans verenden an unserem toxischen Plastikmüll, der über die Nahrungskette bis in unseren Körper zurück gelangt. [...]

Rund 250 Millionen Tonnen Kunststoff werden weltweit pro Jahr produziert. "Gut 10 Prozent der davon landen im Meer und stellen rund 70 Prozent seines Mülls", so Tuerkay. "Ist Müll im Meer auch kein neues Problem, so hat aber gerade die Menge des Plastikmülls eine dramatische Dimension erreicht", berichtet Maack. Im Gegensatz zu "normalem" Müll, wie etwa Lebensmittelresten und Holz, unterliegen die Kunststoffteile keinem natürlichen Recycling und werden weder abgebaut noch verrotten sie. Allenfalls die Wellenenergie und die UV-Strahlung der Sonne sind in der Lage die Plastikteile auf natürlichem Wege zu zerkleinern. [...]

Nach der Zerkleinerung sind die Plastikstücke klein genug, um etwa von Fischen, Meeressäugtieren, Vögeln, Muscheln mit - oder anstelle von - der Nahrung aufgenommen zu werden. Im Magen-Darm-Trakt der Organismen reichern sich die Plastikstücke an und können nicht mehr ausgeschieden werden. Sie verstopfen den Verdauungstrakt der Tiere. "Den Magen voller Plastikstücke können die Tiere keine richtige Nahrung mehr aufnehmen und verhungern mit vollem Magen", sagt Maack.

Die Ökotoxikologin Angela Köhler vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven befasst sich mit der Aufnahme und dem Transport von Schad- und Giftstoffen mit Plastikfragmenten im Mikro- und Nanometerbereich bei Meerestieren. Die Ergebnisse ihrer Forschung sind alarmierend, denn je kleiner die Partikel sind, desto aggressiver wirken sie auch im mikroskopischen und molekularen Bereich. Anhand von Versuchen mit Muscheln konnten die Forscher nachweisen, dass die Plastikpartikel problemlos Zellschranken überwinden und in die Körperzellen eindringen.

Hinzu kommt, dass sich wasserunlösliche, giftige Substanzen wie DDT oder Polychlorierte Biphenyle an den Oberflächen der Plastikteile bevorzugt anlagern und sie zusammen mit den giftigen Inhaltsstoffen des Plastiks, etwa den östrogenartig wirkenden Weichmachern, zu hochgiftigen Schwebstoffen im Meer werden lassen, deren Menge sich über die Nahrungskette anreichert. "Die Partikel saugen die Gifte auf, wie Schwämme das Wasser", so Maack. Selbst in den Mägen des mikroskopisch kleinen Planktons, das am Anfang der marinen Nahrungskette steht, fanden Meeresbiologen Gift und Plastikmüll, die auf dem Umweg der marinen Nahrungskette auch schließlich wieder zu uns zurückkommen.

[...] Bleiben größere Partikel im Darm hängen, so dringen die Nanoplastikpartikel bis in die Zellen des Körpers von Tieren ein und transportieren als Trägerstoff Gifte direkt zum Zellkern. [...]  
"Je weiter wir in die Materie einsteigen, desto mehr sehen wir, wie wenig wir noch über den Weg des Plastiks in der Umwelt und bis in unseren eigenen Körper hinein wissen", sagt die Bremerhavener Wissenschaftlerin.

Vollständiger Artikel unter:

<http://www.faz.net/s/Rub80665A3C1FA14FB9967DBF46652868E9/Doc~E7BA7B61A51E54B158EBC69C7373EFCBA~ATpl~Ecommon~Scontent.html> (Stand: 24.1.2011)

**Lösungshinweise zu Arbeitsblatt 3: Nano-Eisen**

**Aufgaben:**

a) Ein Würfel mit einer Kantenlänge von 1 cm besitzt ein Volumen von  $1 \text{ cm}^3$  und eine Oberfläche von  $6 \text{ cm}^2$ . Berechnen Sie die Gesamtoberfläche, wenn der Würfel mit Kantenlänge von 1 cm in kleinere Würfel mit Kantenlänge von 1 nm erteilt wird.

Kantenlänge 1 cm: pro Würfel­fläche  $\rightarrow 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} = 1 \text{ cm}^2$   
da 6 Würfel­flächen  $\rightarrow 6 \times 1 \text{ cm}^2 = 6 \text{ cm}^2$

durch Zerteilung des 1cm-Würfels in 1nm-Würfel entstehen  $10^{21}$  Würfel ( $1 \text{ cm} = 10^7 \text{ nm}$ ):  
 $10^7 \times 10^7 \times 10^7 = 10^{21}$

Kantenlänge 1 nm: pro Würfel­fläche  $\rightarrow 1 \text{ nm} \times 1 \text{ nm} = 1 \text{ nm}^2$   
da 6 Würfel­flächen  $\rightarrow 6 \times 1 \text{ nm}^2 = 6 \text{ nm}^2$   
da  $10^{21}$  Würfel  $\rightarrow 6 \text{ nm}^2 \times 10^{21} = 6 \times 10^{21} \text{ nm}^2 = 60.000.000 \text{ cm}^2 = 6.000 \text{ m}^2$

Wird der 1cm-Würfel in kleinere Würfel mit einer Kantenlänge von 1 nm zerlegt, so entstehen  $10^{21}$  kleine Würfel mit einer Gesamtoberfläche von  $6.000 \text{ m}^2$ .

b) Am 19. Januar 2011 erschien in der **Frankfurter Allgemeinen Zeitung (FAZ)** ein Artikel von Rüdiger Schacht mit dem Titel „Das alte Meer und der Müll“, in dem die Sorge um die massenhafte Verbreitung von Plastikmüll in den Weltmeeren und deren ökologischen Folgen thematisiert wird (s. Informationsblatt 2).

Erläutern Sie die Verbindung dieser Problematik mit dem Unterrichtsthema „Neue Eigenschaften von Nanopartikeln“.

Durch Wellenenergie und UV-Strahlung wird Plastik in mikro- bis nanometer kleine Partikel zerkleinert. Durch die Zerkleinerung nimmt die Anzahl und Oberfläche der Partikel stetig zu. Aufgrund der Oberflächenzunahme lagern sich wasserunlösliche, toxische Substanzen wie DDT oder Polychlorierte Biphenyle an den Nano-Plastikpartikel bevorzugt an. Die mikroskopischen Plastikpartikel werden von Fischen, Meeressäugtieren, Vögeln, Muscheln etc. mit der Nahrung aufgenommen und reichern sich im Magen-Darm-Trakt an, weil sie weder verdaut noch ausgeschieden werden können.

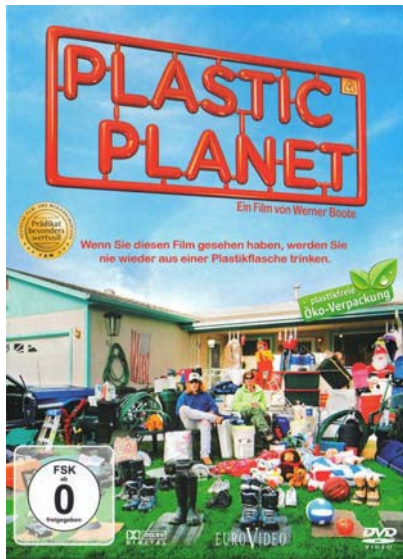
Eigenschaftsänderung bei nanoskaliger Partikelgröße: als weiteres Beispiel die erhöhte Absorption hydrophober Substanzen an die Partikeloberfläche.

c) Schlagen Sie 2 Strategien zur Lösung des in Aufgabe b) erörterten Problems vor. Stellen Sie dar, wie Sie persönlich einen Beitrag leisten könnten.

z.B. Vermeidung von Plastikmüll, Verhinderung des Eintrags von Plastikmüll in die Meere, Entwicklung kompostierbarer Kunststoffe

eigene Beiträge: z.B. a) Kunststoff-Produkte verwenden, die biologisch abbaubar sind / beim Händler nach solchen Kunststoffen nachfragen  
b) Vermeidung von Plastikmüll  
c) Problembewusstsein bei anderen schaffen (Information)

**Sonderarbeitsblatt:**



## Plastic Planet

Ein Film des österr. Regisseurs Werner Boote

Plastik ist billig und praktisch. Wir sind Kinder des Plastikzeitalters. Kunststoffe können bis zu 500 Jahre in Böden und Gewässern überdauern und mit ihren unbekanntem Zusatzstoffen unser Hormonsystem schädigen. Wussten Sie, dass Sie Plastik im Blut haben?

(Textquelle: DVD-Cover von Plastic Planet)



**Aufgaben:**

Im Film von Werner Boote erhalten Sie Informationen, um nachfolgende Aufgaben bearbeiten zu können. Darüber hinaus erhalten Sie durch den einen oder anderen Arbeitsauftrag die Möglichkeit, sich mit bestimmten Aussagen des Films kritisch auseinander setzen zu können.



a) Zählen Sie die Vorteile von Gebrauchsgegenständen aus Kunststoff auf, die im Film genannt werden.



b) Nennen Sie anhand der Angaben im Film Nachteile, die aus dem Einsatz von Gebrauchsgegenständen aus Kunststoff folgen.



c) Recherchieren Sie das Gefahrenpotenzial von Vinylchlorid für die menschliche Gesundheit. Erläutern Sie, wie sich diesbezüglich Polyvinylchlorid (PVC) von Vinylchlorid unterscheidet. Diskutieren Sie die Aussage im Film „PVC ist krebserregend“.



d) Recherchieren Sie, weshalb bei der Herstellung von Kunststoffen Weichmacher wie Bisphenol A bzw. Phthalate zum Einsatz kommen. Dokumentieren Sie, welche wissenschaftlichen Fakten derzeit hinsichtlich einer Gesundheitsgefährdung des Menschen durch Bisphenol A bzw. Phthalate existieren.



e) Erläutern Sie anhand der Darstellung im Film die Problematik, die aus der Verbreitung von Plastikmüll in den Weltmeeren entsteht.



f) Nennen Sie die Vor- und Nachteile biokompostierbarer Polymere, die im Film Erwähnung finden.

**Sonderarbeitsblatt:**

**Aufgaben:**

a) Zählen Sie die Vorteile von Gebrauchsgegenständen aus Kunststoff auf, die im Film genannt werden.

- lassen sich leicht färben → sind bunt
- sind leichter als andere Werkstoffe wie Holz, Stahl, Beton → geringerer Energieverbrauch beim Transport
- bruchsicher → im Gegensatz zu Glas
- Nylonfäden: elastischer als Seide, feiner als Spinnenseide

b) Nennen Sie Nachteile, die aus dem Einsatz von Gebrauchsgegenständen aus Kunststoff folgen.

- langsamer Abbau / Zerfall unter natürlichen Bedingungen, der mehrere hundert Jahre dauern kann (Müllproblematik)
- Freigabe gebundener Schadstoffe über viele Jahre

c) Recherchieren Sie das Gefahrenpotenzial von Vinylchlorid für die menschliche Gesundheit. Erläutern Sie, wie sich diesbezüglich Polyvinylchlorid (PVC) von Vinylchlorid unterscheidet. Diskutieren Sie die Aussage im Film „PVC ist krebserregend“.

Risiko- und Sicherheitssätze für Gefahrstoffe: **Vinylchlorid**

- R 12 Hochentzündlich
- R 45 Kann Krebs erzeugen
- S 53 Exposition vermeiden – vor Gebrauch besondere Anweisungen einholen. – Nur für den berufsmäßigen Verwender –
- S 45 Bei Unfall oder Unwohlsein sofort Arzt hinzuziehen

Vinylchlorid wurde lange Zeit lediglich als betäubend und augenreizend eingestuft. Die toxischen Eigenschaften für den Menschen wurden erstmals in den 60er Jahren erkannt. Erst Anfang der 1970er Jahre wurde das klinische Bild der *Vinylchlorid-Krankheit* erkannt. Leber, Speiseröhre, und Milz sowie die Durchblutung der Hand, die Handknochen und die Haut sind hiervon betroffen. Des Weiteren wurde es als krebserzeugend eingestuft. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) geht davon aus, dass bei einer lebenslangen Exposition mit  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  das Krebsrisiko bei 1 zu 1 Million liegt. Die Grenzwerte für die maximale Vinylchlorid-Konzentration am Arbeitsplatz wurden laufend herabgesetzt: Da es erwiesenermaßen krebserregend ist, werden heute keine Grenzwerte mehr festgelegt.

Bei der Handhabung sind als Schutzmaßnahmen Atemschutz und Vollschutz notwendig. Die Lagerung erfolgt in Druckdosen und -zylindern.

**Polyvinylchlorid (PVC)** ist ein thermoplastischer Kunststoff. Das Polymer Polyvinylchlorid kann durch radikalische oder ionische Polymerisation aus dem Monomer Vinylchlorid hergestellt werden. Risiko- und Sicherheitssätze für Gefahrstoffe: Polyvinylchlorid

- keine R-Sätze
- keine S-Sätze

Per se birgt reines Polyvinylchlorid keine Gefährdung für die menschliche Gesundheit. Somit ist die Aussage im Film irreführend und bezieht sich möglicherweise auf den Ausgangsstoff Vinylchlorid (s.o. Vinylchlorid-Krankheit bzw. krebserzeugend).

Wird PVC jedoch verbrannt, bildet sich ätzender gasförmiger Chlorwasserstoff, der mit Wasser oder Luftfeuchtigkeit Salzsäure bildet. Bei Temperaturen von PVC-Bränden entstehen Dioxine, die hochgiftig und krebserregend wirken.

Des Weiteren enthält Weich-PVC so genannte Weichmacher (z.B. Phthalate), die aus PVC ausgasen können. Phthalate stehen im Verdacht, krebserregend zu wirken.

d) *Recherchieren Sie, weshalb bei der Herstellung von Kunststoffen Weichmacher wie Bisphenol A bzw. Phthalate zum Einsatz kommen. Dokumentieren Sie, welche wissenschaftlichen Fakten derzeit hinsichtlich einer Gesundheitsgefährdung des Menschen durch Bisphenol A bzw. Phthalate existieren.*

Der Zusatz von **Weichmachern** verleiht manchen von Natur aus harten Kunststoffen (wie PVC) plastische Eigenschaften, wie Nachgiebigkeit und Weichheit. Als Weichmacher werden vor allem so genannte Phthalate und Bisphenol A eingesetzt. Die Weichmacher lagern sich bei der thermoplastischen Verarbeitung zwischen die Molekülketten des PVC ein und lockern dadurch das Gefüge. Diese Einlagerung ist eine physikalische Aufdehnung der Struktur, sodass trotz der geringen Flüchtigkeit Moleküle des Weichmachers gasförmig freigesetzt werden können. Dadurch kann es auch beispielsweise zur Wanderung des Weichmachers in angrenzende Materialien kommen.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), die in Deutschland zuständige Fachbehörde für die Bewertung von Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz, hat im Herbst 2008 als Reaktion auf Medienberichte zu neuen Studien mitgeteilt: „Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) hat geprüft, ob die Studien Erkenntnisse liefern, die eine Änderung der gesundheitlichen Risikobewertung erforderlich machen. Das Institut sieht unter Berücksichtigung der Daten aus beiden Studien keinen Anlass, die bisherige Risikobewertung für **Bisphenol A** zu ändern. Wird die von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) 2007 festgelegte tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (TDI) von 0,05 Milligramm Bisphenol A pro Kilogramm Körpergewicht eingehalten, besteht für Verbraucher kein gesundheitliches Risiko.“

Das Umweltbundesamt, das bereits 2001 das Entfernen von Bisphenol A aus Babyflaschen und Lebensmitteldosen gefordert hatte, ist allerdings weiterhin anderer Ansicht und hat 2009 erneut vor Bisphenol A gewarnt und den bestehenden EU- Grenzwert als zu hoch bezeichnet.

Für Spielzeuge ist der Einsatz von Weich-PVC problematisch, obwohl es wegen seines günstigen Preises und der Eigenschaften verbreitet ist. Trotz des geringen Dampfdrucks können Weichmacher über Speichel, Hautkontakt oder die Atemwege in den kindlichen Körper gelangen. **Phthalate** sind z.T. leber- und nierenschädigend und stehen im Verdacht, krebserzeugend zu wirken. Dies ergaben mehrere Untersuchungen bei denen sich deutliche Spuren im Blut fanden. Diethylhexylphthalat (DEHP) wurde durch eine EU- Arbeitsgruppe im Jahr 2000 als frucht- und fruchtbarkeitsschädigend eingestuft. Weich- PVC mit Phthalatweichmachern wurde in der EU im Jahre 1999 für Kleinkinderspielzeug verboten.

„Der menschliche Organismus nimmt PVC-Weichmacher in höheren Mengen auf, als bisher angenommen. Besonders gefährdet sind Kinder. Die weit verbreiteten Weichmacher Phthalate gelten als höchst gesundheitsgefährdend, weil sie in den Hormonhaushalt des Menschen eingreifen und die Fortpflanzung bzw. Entwicklung schädigen“ – *Zitat Umweltbundesamt*

#### **Textquellen:**

- Umweltbundesamt Dessau, *Phthalate – Die nützlichen Weichmacher mit den unerwünschten Eigenschaften*, Feb. 2007
- Thomas Hillenbrand et al., Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, *Datenblatt: Diethylhexylphthalat (DEHP)*, <http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/stoffhaushalt/dehp.pdf>, (Stand: 7.2.2011)
- BfR - Bundesinstitut für Risikobewertung: Empfehlung I „*Weichmacherhaltige Hochpolymere*“. Stand 1.4.2006. Datenbank für Kunststoff-Empfehlungen des BfR. [www.bfr.bund.de](http://www.bfr.bund.de)
- EU Kommission: Environmental Quality Standards (EQS) Substance Data Sheet, Priority substances No. 12, Diethylhexylphthalat (DEHP), Final Version, Brüssel, 31. Juli 2005
- BfR - Bundesinstitut für Risikobewertung, *Neue Studien zu Bisphenol A stellen die bisherige Risikobewertung nicht in Frage*, Information Nr. 036/2008 des BfR vom 19. September 2008



e) *Erläutern Sie anhand der Darstellung im Film die Problematik, die aus der Verbreitung von Plastikmüll in den Weltmeeren entsteht.*

- Kunststoffe sammeln sich, da unverdaubar, in Mägen junger Seevögel, Fische und anderer Meeresorganismen an → Lebewesen sterben mit vollem Magen
- es kommt in Gewässern zur Ausbildung von Fischen mit beiden Geschlechtsmerkmalen (so genannte Intersexe); Ursache hierfür sind möglicherweise chemische Verbindungen wie Bisphenol A oder Phthalate, die wie das weibliche Geschlechtshormon Östrogen wirken können.

f) *Erörtern Sie die Vor- und Nachteile biokompostierbarer Polymere, die im Film Erwähnung finden.*

Vorteile: - sie sind unter natürlichen Bedingungen innerhalb weniger Wochen abbaubar  
- bei der Herstellung kommen keine Weichmacher wie Bisphenol A oder Phthalate zum Einsatz

Nachteil: - um den derzeitigen Bedarf an Kunststoffen mit biokompostierbaren Polymeren decken zu können, müssten zur Gewinnung der Rohstoffe immense Anbauflächen in Anspruch genommen werden → somit entstünde eine Konkurrenzsituation mit der Lebensmittelproduktion

### Versuch 3: Pyrophores Eisen (Variante für Einsteiger)

#### Chemikalien:

Eisenoxalat Hydrat  $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}$

#### Glossar:

**Hydrat:** Kristallwasser oder auch Hydratwasser ist die Bezeichnung für Wasser, das im kristallinen Festkörper gebunden vorkommt. Kristallwasserhaltige Substanzen werden auch als Hydrate bezeichnet. Dabei sind Wassermoleküle im Kristall eingebaut. Die Anzahl der Wassermoleküle pro Formeleinheit wird mit griechischen Zahlworten angegeben (mono- = 1, di- = 2, tri- = 3 usw.).

In der Formel wird das Wasser durch einen Punkt abgesetzt angegeben.

Z.B. Eisen(III)-chlorid Hexahydrat =  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Es besteht aus  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen, an die je 6  $\text{H}_2\text{O}$ -Moleküle angelagert sind, und  $\text{Cl}^-$ -Ionen.

#### Material:

hitzebeständige Reagenzgläser, Bunsenbrenner, Pinzette, Watte, feuerfeste Unterlage

#### Versuchsdurchführung:

- Eisenoxalat daumenbreit in ein hitzebeständiges Reagenzglas einfüllen.
- Reagenzglas gut mit Watte verschließen.
- Reagenzglas über der blauen Flamme des Bunsenbrenners erhitzen, bis das gelbe Pulver schwarzgrau wird. Dabei ist es entscheidend, dass das Reagenzglas gut verschlossen ist und während dem Erhitzen kein Sauerstoff in Kontakt mit dem glühenden Pulver kommt.
- Evtl. am oberen Reagenzglasrand kondensierter Wasserdampf mit saugfähigem Papier entfernen.
- Anschließend den Raum etwas abdunkeln, die Watte rasch entfernen und das glühende Pulver aus ca. 50 cm Höhe auf eine feuerfeste Unterlage ausschütten. (**Beobachtung!**)

#### Beobachtungen und Erläuterungen:

Notieren Sie Ihre Beobachtungen und bearbeiten nachfolgende Aufgaben:

- Erhitzt man Eisenspäne über einem Bunsenbrenner, kann die spontane Verbrennungsreaktion bei Raumtemperatur nicht beobachtet werden. Erläutern Sie das unterschiedliche Verhalten.
- Formulieren Sie hierzu auch die Reaktionsgleichungen für die Vorgänge beim Erhitzen von Eisenoxalat sowie für die Verbrennungsreaktion von Eisen.

(**Tippkarte 2**)

#### Glossar:

Substanzen werden als *pyrophor* bezeichnet, wenn sie sich in Kontakt mit Luftsauerstoff spontan entzünden.

#### Text- u. Informationsquelle:

H.W. Roesky, K. Möckel, *Chemische Kabinettstücke – Selbstentzündliches Eisen*, VCH-Verlag Weinheim, 1996

TIPPKARTE 2A:

### Thermolytische Zersetzung: Herstellung der Eisen-Nanopartikel

Das gelbe Eisenoxalat-Hydrat zersetzt sich beim Erhitzen in elementares Eisen, zweiwertiges Eisenoxid ( $\text{FeO}$ ), Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Wasser.

### Spontane Verbrennung der Eisen-Nanopartikel bei Raumtemperatur

Bei der spontanen, stark exothermen Verbrennung des Gemischs aus Eisen- und  $\text{FeO}$ -Nanopartikeln entsteht dreiwertiges Eisenoxid.

### Lösungshinweise zu Versuch 3: Pyrophores Eisen (Variante für Einsteiger)

#### Beobachtungen und Erläuterungen

- Erhitzt man Eisenspäne über einem Bunsenbrenner, kann die Verbrennungsreaktion nicht beobachtet werden. Erläutern Sie das unterschiedliche Verhalten.

Je größer diese spezifische Oberfläche ist, desto mehr Atome befinden sich in direktem Kontakt mit der Umgebung und können daher direkt mit ihr wechselwirken. Im Gegensatz dazu sind die Teilchen im Innern durch benachbarte Atome von der Umgebung abgeschirmt. In metallischen Kristallgittern führt dies zudem dazu, dass die Atome an der Oberfläche eine weitaus geringere Bindungsenergie aufweisen.

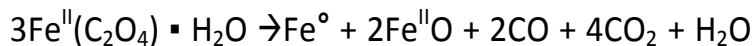
In Bezug auf die Verbrennung von Eisen äußert sich dies wie folgt: Bei fein verteilten Eisen-Nanopartikeln ist die spezifische Oberfläche extrem groß. Ein Großteil der Eisenatome, welche zusammen ein Nanopartikel formen, befindet sich daher an der Oberfläche des Partikels. Diese Oberflächenatome werden zudem viel weniger stark vom Rest des Partikels „festgehalten“ als dies in makroskopischen Partikeln der Fall wäre. So entstehen veränderte chemische Eigenschaften des Eisens zum Beispiel hinsichtlich seiner Reaktivität mit Sauerstoff. Nanoskaliges Eisen kann daher bereits bei Raumtemperatur oxidiert bzw. verbrannt werden.

Bei makroskopischen Eisenspänen dauert die Oxidation viel länger und schreitet sogar bei Temperaturen von über 600°C nur sehr langsam voran. Dies, weil sich die überwiegende Mehrheit der Eisenatome im Innern des Partikels befindet und gar nicht mit dem Sauerstoff in Kontakt kommt.

- Formulieren Sie hierzu auch die Reaktionsgleichungen für die Vorgänge beim Erhitzen von Eisenoxalat sowie für die Verbrennungsreaktion von Eisen.

#### Thermolytische Zersetzung: Herstellung der Eisen-Nanopartikel

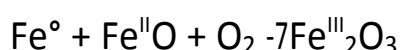
Das gelbe Eisenoxalat-Hydrat zersetzt sich beim Erhitzen in elementares Eisen, zweiwertiges Eisenoxid, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Wasser. Das entstehende elementare Eisen und FeO liegen in nanoskaliger Form vor und sind äußerst fein verteilt. Die Watte, welche während dem Erhitzen das Reagenzglas verschließt, verhindert den Austritt des Kohlenmonoxids und Kohlendioxids, welches das Gemisch aus Eisen- und FeO-Pulver vorübergehend überdeckt. Dadurch gerät das entstehende pyrophore Eisengemisch nicht sofort in Kontakt mit Sauerstoff.



Eisenoxalat-Hydrat

#### Spontane Verbrennung der Eisen-Nanopartikel bei Raumtemperatur

Beob.: das glühende Pulver fällt als orange-farbener, grell-leuchtender Funkenregen aus dem Reagenzglas



Nanoskaliges Eisen und Eisen(II)-Oxid reagieren heftig bei Kontakt mit Sauerstoff. Die bei diesem Oxidationsprozess freiwerdende Energie ist so hoch, dass sich die Eisenpartikel spontan entzünden. Mit dem Versuch kann gezeigt werden, dass durch die gezielte Vergrößerung der Oberfläche die Aktivierungsenergie bestimmter Reaktionen entscheidend verringert werden kann.

**Versuch 3: Pyrophores Eisen (Variante für Fortgeschrittene)**

**Chemikalien:**

Ammoniumoxalat Monohydrat  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  Ammoniumeisen(II)-Sulfat Hexahydrat  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  destilliertes Wasser

**Glossar:**

*Ammoniumoxalat:* Ammoniumsalz der Oxalsäure

$$\begin{array}{c} \text{COO}^- (\text{NH}_4)^+ \\ | \\ \text{COO}^- (\text{NH}_4)^+ \end{array}$$

*Hydrat:* Kristallwasser oder auch Hydratwasser ist die Bezeichnung für Wasser, das im kristallinen Festkörper gebunden vorkommt. Kristallwasserhaltige Substanzen werden auch als Hydrate bezeichnet. Dabei sind Wassermoleküle im Kristall eingebaut. Die Anzahl der Wassermoleküle pro Formeleinheit wird mit griechischen Zahlworten angegeben (mono- = 1, di- = 2, tri- = 3 usw.).

In der Formel wird das Wasser durch einen Punkt abgesetzt angegeben.

Z.B. Eisen(III)-chlorid Hexahydrat =  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Es besteht aus  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen, an die je 6  $\text{H}_2\text{O}$ -Moleküle angelagert sind, und  $\text{Cl}^-$ -Ionen.

**Material:**

100 ml Messzylinder, 10ml-Pipette mit Pipettierhilfe, Thermometer (bis 100°C), Stoppuhr, Heizplatte mit Magnetrührer, Rührfisch, Bechergläser (250 ml, 50 ml und 25 ml), Waage (Genauigkeit bis 0,01 g), Wägeschalen, 20ml-Spritze, Spatel, 2 Glastrichter, Stativ mit Halterungen für 2 Trichter, Filterpapier, 2 Uhrgläser, Abtropfschale, hitzebeständige Reagenzgläser, Bunsenbrenner, Pinzette, Watte, feuerfeste Unterlage

**Versuchsdurchführung:**

**(A) Herstellung der gesättigten Ammoniumoxalat Lösung**

- 2,5 g Ammoniumoxalat in ein 50 ml Becherglas mit Rührfisch geben und 25 ml dest. Wasser dazu pipettieren.
- Lösung bei angemessener Geschwindigkeit rühren und auf ca. 50°C erwärmen. Den Temperaturanstieg der Lösung mit dem Thermometer verfolgen.
- Bis 50°C rühren, das Becherglas dann von der Heizplatte nehmen. Danach wird gewartet, bis sich das nicht lösbares Ammoniumoxalat nach ca. 1 min am Boden des Becherglases absetzt.

**(B) Herstellung der 50 mM Ammoniumeisen(II)-Sulfat Lösung**

Während sich das Ammoniumoxalat absetzt, kann die Ammoniumeisen(II)-Sulfat Lösung hergestellt werden:

- 2 g Ammoniumeisen(II)-Sulfat in ein 250 ml Becherglas mit Rührfisch geben und 100 ml dest. Wasser hinzufügen.
- Lösung bei angemessener Geschwindigkeit rühren bis das Ammoniumeisen(II)-Sulfat Hexahydrat vollständig gelöst ist.

**(C) Ausfällen von Di-Ammoniumeisen(II)-Di-Oxalat**

- Die Ammoniumoxalat-Lösung mit der 20 ml Plastikspritze aufsaugen, ohne dass dabei das nicht gelöste Ammoniumoxalat am Boden des Becherglases in die Spritze gelangt.
- Die 20 ml Ammoniumoxalat-Lösung aus der Spritze unter hohem Druck und sehr rasch zu den 100 ml Ammoniumeisen(II)-Sulfat Lösung im 250 ml Becherglas auf der Rührplatte spritzen (**Beobachtung!**).
- Lösung rühren und auf ca. 50°C erwärmen; Dauer etwa 10 min. (**Beobachtung!**).

**(D) Filtrieren und Trocknen von Di-Ammoniumeisen(II)-Di-Oxalat**

- Die Flüssigkeit abfiltrieren (um schneller zu arbeiten 2 Vorrichtungen verwenden).
- Filterpapiere auf Uhrgläser legen und über Nacht trocknen lassen

**(E) Verbrennungsreaktion**

- Getrocknetes Di-Ammoniumeisen(II)-Di-Oxalat von Filterpapier abkratzen und in ein hitzebeständiges Reagenzglas schütten.
- Reagenzglas gut mit Watte verschließen.
- Reagenzglas über der blauen Flamme des Bunsenbrenners erhitzen, bis das gelbe Pulver schwarzgrau wird und zu glühen beginnt. Dabei ist es entscheidend, dass das Reagenzglas gut verschlossen ist und während dem Erhitzen kein Sauerstoff in Kontakt mit dem glühenden Pulver kommt.
- Anschließend den Raum etwas abdunkeln, die Watte rasch entfernen und das glühende Pulver aus ca. 50 cm Höhe auf eine feuerfeste Unterlage ausschütten.  
(**Beobachtung!**)

**Beobachtungen und Erläuterungen:**

Notieren Sie Ihre Beobachtungen und bearbeiten nachfolgende Aufgaben:

- Erhitzt man Eisenspäne über einem Bunsenbrenner, kann die spontane Verbrennungsreaktion bei Raumtemperatur nicht beobachtet werden. Erläutern Sie das unterschiedliche Verhalten.
- Formulieren Sie hierzu auch die Reaktionsgleichungen für die Bildung von Di-Ammoniumeisen(II)-Di-Oxalat, für die Vorgänge beim Erhitzen von Di-Ammoniumeisen(II)-Di-Oxalat sowie für die Verbrennungsreaktion von Eisen. (**Tippkarte 2**)

**Glossar:**

Substanzen werden als *pyrophor* bezeichnet, wenn sie sich in Kontakt mit Luftsauerstoff spontan entzünden.

**Text- u. Informationsquelle:**

Swiss Nano-cube – Die Innovationsgesellschaft, St. Gallen, <http://www.swissnanocube.ch/nano-teach-box/>,  
Dez. 2010

TIPPKARTE 2:

### Thermolytische Zersetzung: Herstellung der Eisen-Nanopartikel

Das gelbliche Di-Ammonium Eisen(II)-Di-Oxalat zersetzt sich beim Erhitzen in elementares Eisen, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasser und Ammoniak.

### Spontane Verbrennung der Eisen-Nanopartikel bei Raumtemperatur

Bei der Verbrennung der Eisen-Nanopartikel entsteht dreiwertiges Eisenoxid.

### Lösungshinweise zu Versuch 3: Pyrophores Eisen (Variante für Fortgeschrittene)

#### Beobachtungen und Erläuterungen

- Erhitzt man Eisenspäne über einem Bunsenbrenner, kann die Verbrennungsreaktion nicht beobachtet werden. Erläutern Sie das unterschiedliche Verhalten.

Je größer diese spezifische Oberfläche ist, desto mehr Atome befinden sich in direktem Kontakt mit der Umgebung und können daher direkt mit ihr wechselwirken. Im Gegensatz dazu sind die Teilchen im Innern durch benachbarte Atome von der Umgebung abgeschirmt. In metallischen Kristallgittern führt dies zudem dazu, dass die Atome an der Oberfläche eine weitaus geringere Bindungsenergie aufweisen.

In Bezug auf die Verbrennung von Eisen äußert sich dies wie folgt: Bei fein verteilten Eisen-Nanopartikeln ist die spezifische Oberfläche extrem groß. Ein Großteil der Eisenatome, welche zusammen ein Nanopartikel formen, befindet sich daher an der Oberfläche des Partikels. Diese Oberflächenatome werden zudem viel weniger stark vom Rest des Partikels „festgehalten“ als dies in makroskopischen Partikeln der Fall wäre. So entstehen veränderte chemische Eigenschaften des Eisens zum Beispiel hinsichtlich seiner Reaktivität mit Sauerstoff. Nanoskaliges Eisen kann daher bereits bei Raumtemperatur oxidiert bzw. verbrannt werden.

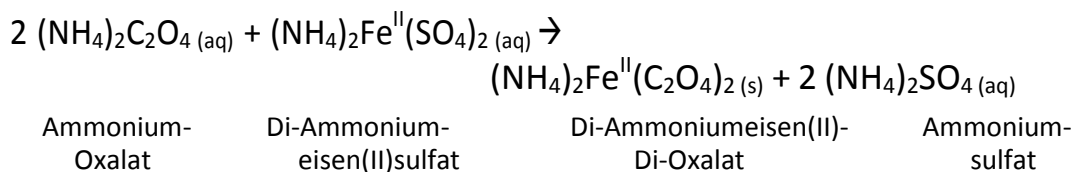
Bei makroskopischen Eisenspänen dauert die Oxidation viel länger und schreitet sogar bei Temperaturen von über 600°C nur sehr langsam voran. Dies, weil sich die überwiegende Mehrheit der Eisenatome im Innern des Partikels befindet und gar nicht mit dem Sauerstoff in Kontakt kommt.

- Formulieren Sie hierzu auch die Reaktionsgleichungen für die Bildung von Di-Ammoniumeisen(II)-Di-Oxalat, für die Vorgänge beim Erhitzen von Di-Ammoniumeisen(II)-Di-Oxalat sowie für die Verbrennungsreaktion von Eisen.

#### Herstellung des Di-Ammoniumeisen(II)-Di-Oxalats:

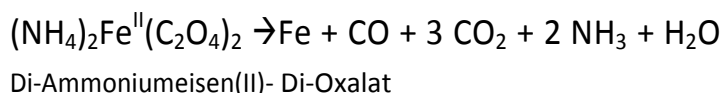
Beob.: Bildung eines gelblichen Niederschlag

Bei Zugabe von Ammoniumoxalat zu einer wässrigen Lösung von Ammoniumeisen(II)-Sulfat fällt das Di-Ammoniumeisen(II)-Di-Oxalat als gelblicher Niederschlag aus. Als Nebenprodukt entsteht Ammoniumsulfat.



#### Thermolytische Zersetzung: Herstellung der Eisen-Nanopartikel

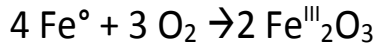
Das gelbliche Di-Ammoniumeisen(II)-Di-Oxalat zersetzt sich beim Erhitzen in elementares Eisen, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Ammoniak. Das entstehende elementare Eisen liegt in nanoskaliger Form vor und ist äußerst fein verteilt. Die Watte, welche während dem Erhitzen das Reagenzglas verschließt, verhindert den Austritt des Kohlenmonoxids und Kohlendioxids, welches das glühende Eisenpulver vorübergehend überdeckt. Dadurch gerät das entstehende pyrophore Eisen nicht sofort in Kontakt mit Sauerstoff.





**Spontane Verbrennung der Eisen-Nanopartikel bei Raumtemperatur**

*Beob.:* das glühende Pulver fällt als orange-farbener, grell-leuchtender Funkenregen aus dem Reagenzglas



Nanoskaliges Eisen reagiert heftig bei Kontakt mit Sauerstoff. Die bei diesem Oxidationsprozess freiwerdende Energie ist so hoch, dass sich die Eisenpartikel spontan entzünden. Mit dem Versuch kann gezeigt werden, dass durch die gezielte Vergrößerung der Oberfläche die Aktivierungsenergie bestimmter Reaktionen entscheidend verringert werden kann.

**Arbeitsblatt 4: Nano-Eisenoxid**

»Es wird nur dort heiß, wo unsere Nanoteilchen sind«

Winzige Eisenoxidteilchen heizen bösartigen Tumoren ein und vernichten sie dadurch. Nach Jahren der Forschung erproben Berliner Wissenschaftler die Nanokrebstherapie nun an Patienten.

(*Spektrum der Wissenschaft*, Interview mit Dr. Andreas Jordan, November 2009, S. 104-105)

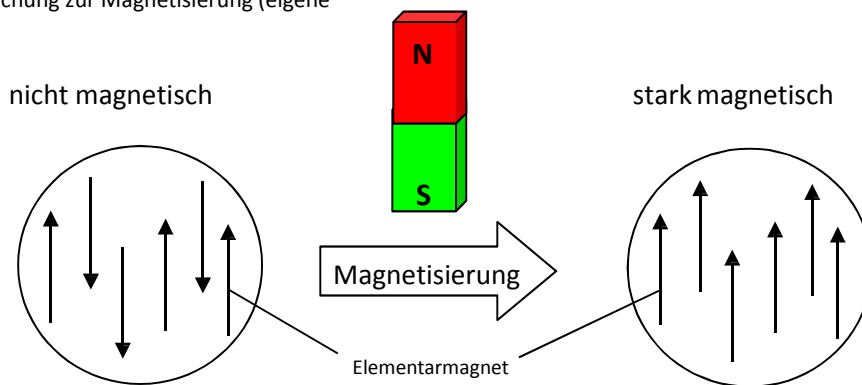
**Theoretischer Teil:**

Bei den hier verwendeten Eisenoxidteilchen handelt es sich um nanoskaliges Magnetit. Magnetit oder Magneteisenstein, dessen chemische Formel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (exakt:  $\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}_2\text{O}_4$ ) lautet, ist der älteste bekannte Werkstoff, der für die Erscheinung des Magnetismus namensgebend war.

**Exkurs: Magnetismus**

Elektronen bewegen sich um den Atomkern, wodurch ein „schwaches“ Magnetfeld erzeugt wird. Zwei Elektronen mit entgegengesetzter Drehrichtung (=Spin) heben ihre Magnetfelder gegenseitig auf. Werden über alle Elektronen im Atom, Ion oder Molekül die entgegengesetzten Spins nicht ausgeglichen, entsteht ein so genannter Elementarmagnet. Bestimmte Stoffe können durch Einfluss eines äußeren Magnetfeldes magnetisiert werden. Dies bedeutet, dass sie selbst magnetisch werden. Hierbei werden alle Elementarmagnete im Stoff gleich ausgerichtet.

**Abb. 9:** Veranschaulichung zur Magnetisierung (eigene Quelle)



Man unterscheidet folgende Magnetformen:

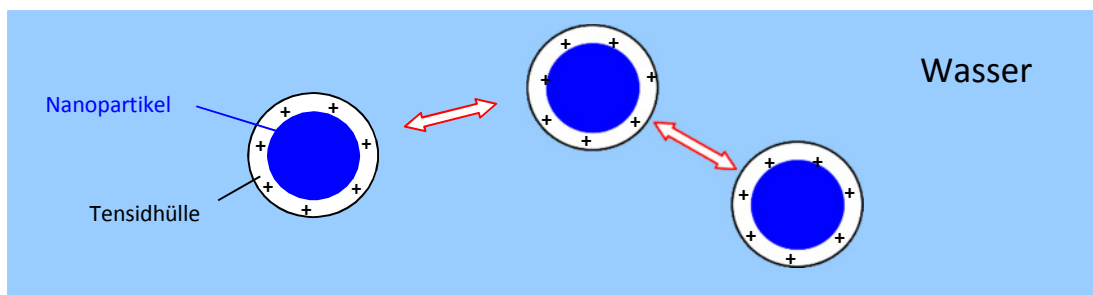
- a) *Ferromagnete*: Materialien, die stark und dauerhaft magnetisiert werden können (z.B. Eisen, Kobalt, Nickel)
- b) *Paramagnete*: Materialien, die nur schwach und nicht dauerhaft magnetisiert werden können (z.B. Sauerstoff)
- c) *Diamagnete*: Materialien, die nicht magnetisiert werden können (z.B. Wasser)

Ferromagnetismus ist eine temperaturabhängige Erscheinung. Bei einer zu hohen Temperatur, der Curie-Temperatur ( $T_C$ ), ist die thermische Energie zu hoch, als dass sich langfristig magnetische Gleichausrichtungen bilden können. Die zufällige Verteilung der Elementarmagnete führt zu Paramagnetismus. Dieser bleibt für alle Temperaturen oberhalb der Curie-Temperatur erhalten, selbst nach Übergang des Festkörpers in die Flüssigkeits- oder Gasphase.

Bereits vor etwa 150 Jahren versuchte man, die Eigenschaften von magnetischen Substanzen und Flüssigkeiten zu kombinieren. Erste Erfolge erzielte man durch geschicktes Hinzufügen von ferromagnetischen Stoffen (z.B. Eisenteilchen) zu Wasser. Aufgrund der Gravitation setzen sich aber die Eisenteilchen nach kurzer Zeit ab. Um das zu verhindern, verringerte man die Teilchengröße, was aber ein unwiderrufliches Verklumpen der Teilchen zur Folge hatte. Erst 1965 konnte auch dieses Problem beseitigt werden. Der NASA-Mitarbeiter Stephen Pappell entwickelte magnetische und damit kontrollierbare Flüssigkeiten für den Einsatz in der Schwerelosigkeit, in denen sich die festen Teilchen weder mit der Zeit absetzen noch in extrem starken Magnetfeldern aneinander anlagern und dann von der Flüssigkeit abscheiden. Ohne äußeres Magnetfeld verhalten sie sich wie ganz normale Flüssigkeiten. Der Siegeszug der magnetischen Flüssigkeiten, z.B. **Ferrofluide** (von lat. *ferrum* = Eisen, *fluidus* = fließend), begann.

Ferrofluide Stoffe bestehen aus 5-10 Nanometer großen magnetischen Partikeln (z.B. aus Eisen od. Magnetit), die in einer Trägerflüssigkeit (meist Wasser oder Öl) kolloidal dispergiert sind. Die dispergierten Nanopartikel zeigen ein unerwartetes Verhalten bei Magnetisierung: sie sind stark aber nicht dauerhaft magnetisierbar. Dies wird als **Superparamagnetismus** bezeichnet.

Durch Zugabe bestimmter Substanzen (z.B. Tenside) wird die kolloidale Dispersion stabiler. Die Anlagerung dieser Moleküle an die Oberfläche der Nanopartikel führt zur gegenseitigen Abstoßung. Zusammenlagerung und Trennung der festen magnetisierbaren Nanopartikel von der Trägerflüssigkeit durch Sedimentieren wird so verhindert.



**Abb. 10:** Schemadarstellung zur gegenseitigen Abstoßung von Nanopartikeln (eigene Quelle)

Unter nachfolgend aufgeführter Internetadresse kann ein kurzer Film zum Verhalten eines Ferrofluids im Magnetfeld betrachtet werden:

<http://www.youtube.com/watch?v=xHr95f0S5po&feature=related>

**Zusatzinformation:**

Die Eigenschaft des Superparamagnetismus von Nanopartikeln hängt mit der geringen Größe der Teilchen zusammen. Sie sind so klein, dass nicht genügend Atome (also auch Elementarmagnete) vorhanden sind, um die Magnetisierung dauerhaft aufrecht zu erhalten. Die thermische Energie bei z.B. Raumtemperatur reicht aus, um die Ausrichtung der Elementarmagnete aufzuheben, wenn das äußere Magnetfeld nicht mehr vorhanden ist.

Oberhalb einer Teilchengröße von 10 Nanometern beginnt der so genannte *magnetorheologische Effekt*. Er tritt bei Flüssigkeiten auf, die ähnlich wie Ferrofluide auf ein Magnetfeld reagieren, sich aber im Gegensatz zu diesen dabei verfestigen. Magnetorheologische Fluide bestehen jedoch aus einer Suspension von Mikrometer großen magnetischen Teilchen. Die relativ großen Teilchen bilden im Magnetfeld Ketten, wodurch sich die Viskosität („Zähigkeit“) bis hin zur Verfestigung der Suspension erhöhen kann. Im Gegensatz dazu bildet ein Ferrofluid keine Ketten. Die zufällige Bewegung der Teilchen überwiegt die Kraft, die sie zusammenzieht; ihre Viskosität ändert sich fast nicht.

### Anwendungsbereiche für Ferrofluide:

#### Industriell:

- Lautsprecher (Wärmeableitung, Dämpfung der Membran)
- verschleißfreie, reibungsarme Dichtungen um rotierende Wellen
- dynamisch geregelte, variable Dämpfung von Fahrzeugen
- Oberflächenbeschichtung von Tarnkappen-Flugzeugen (Stealth-Technologie)
- Tintenstrahldrucker mit ferrofluider Tinte

#### Medizintechnik:

In der Medizin können Ferrofluide zur Diagnose beispielsweise als Kontrastmittel für die bildgebenden Verfahren der Computertomographie (CT) oder Magnetresonanztomographie (MRT) und zur Durchlässigkeitsprüfung von Gefäßsystemen eingesetzt werden.

Durch äußere Felder können Wirksubstanzen mit Hilfe von Ferrofluid als Träger an einer gewünschten Stelle im Körper positioniert werden (*Magnetic Drug Targeting*). Das Ferrofluid lässt sich schließlich durch Magnete wieder aus dem Blutkreislauf entfernen.

Sehr erfolgreich verliefen z.B. Tests mit oberflächenmodifizierten Ferrofluidnanopartikeln, die in Krebszellen eingeschleust und diese dann durch Anlegen eines hochfrequenten Magnetfeldes erhitzt wurden. Diese Wärme wird auf das Zelleninnere übertragen, und die Zelle kann somit in ein künstliches Fieber versetzt werden (*Hyperthermie*). Damit kann das Tumorwachstum gestoppt und der Tumor unter günstigen Bedingungen auch vollständig entfernt werden. Das deutsche Unternehmen *MagForce* hat nach erfolgreichem Abschluss klinischer Studien im Jahre 2009 die Zulassung des Verfahrens für die Behandlung des Glioblastoms (Hirntumor) beantragt.

Zur weiteren Veranschaulichung des Hyperthermie-Verfahrens durch Ferrofluid-Nanopartikel dient auf folgender Internetseite ein Filmbeitrag:

<http://www.youtube.com/watch?v=Yb4ufoZS4vs&feature=related>

### Praktischer Teil:

Führen Sie zunächst Versuch 4 durch (Hinweise und Anleitung s. Anlage). Notieren Sie Ihre Beobachtungen und geben Sie jeweils eine Erklärung.



### Aufgaben:

- a) Erläutern Sie, weshalb sich ein Ferrofluid nicht durch Erhitzen eines ferromagnetischen Stoffes erzeugen lässt.
- b) Erklären Sie am Beispiel von Natriumstearat (= Natriumsalz der Octadecansäure  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{16}\text{-COO}^-\text{Na}^+$ ), dass Tenside die Zusammenlagerung von magnetisierbaren Nanopartikeln sowohl in Wasser als auch in Öl als Trägerflüssigkeit verhindern können.
- c) Formulieren Sie auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse einen Merksatz zu Eigenschaften von Nanopartikeln.

### Text- und Informationsquellen:

- Swiss Nano-cube – Die Innovationsgesellschaft, St. Gallen, <http://www.swissnanocube.ch/nano-teach-box/>, Dez. 2010
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid>, Stand 4.1.2011
- <http://world-of-nano.de/anwendungen/werkstoffe:-nanoferrite-und-ferrofluide--4-0020.html>, Stand 4.1.2011
- <http://www.tet.tu-cottbus.de/nethe/forschung/ferrofluide/>, Stand 4.1.2011

**Lösungshinweise zu Arbeitsblatt 4: Nano-Eisenoxid**

**Aufgaben:**

a) Erläutern Sie, weshalb sich ein Ferrofluid nicht durch Erhitzen eines ferromagnetischen Stoffes erzeugen lässt.

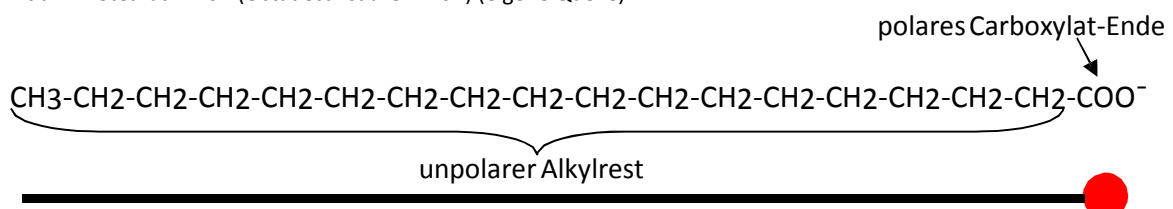
Ferromagnetische Materialien sind zum Beispiel Nickel, Eisen, Zink, Kobalt oder Magnetit. Atome ferromagnetischer Materialien besitzen in ihren Elektronenschalen ungepaarte Elektronen. Dadurch ist der Gesamtspin der Atome ungleich null und sie besitzen ein magnetisches Moment. Die Atome werden daher als Elementarmagneten bezeichnet. Bei ferromagnetischen Materialien (anders als bei paramagnetischen) entstehen hohe Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Elementarmagneten (Austauschenergie). Da diese Energie bei Raumtemperatur höher ist als die thermische Energie der einzelnen Atome, richten sich die magnetischen Momente benachbarter Atome spontan innerhalb bestimmter Bereiche (Weiss-Bezirke) parallel aus. Die Weiss-Bezirke sind je nach Material unterschiedlich gross (0.01  $\mu\text{m}$  bis 1  $\mu\text{m}$ ). Die Ausrichtung aller Weiss-Bezirke des Materials ist vor dem erstmaligen Kontakt mit einem externen Magnetfeld statistisch gleich verteilt und die magnetischen Momente heben sich gegenseitig auf.

Wenn nun aber ferromagnetische Materialien einem externen Magnetfeld ausgesetzt werden, reicht die Kraft aus, um alle Weiss-Bezirke gleichermaßen parallel entlang den Feldlinien des Magnetfeldes auszurichten. Man spricht von Magnetisierung. Da bei Raumtemperatur die Austauschenergie zwischen den einzelnen magnetischen Momenten höher ist als die thermische Energie der einzelnen Atome, lässt sich diese Ausrichtung der Weiss-Bezirke (Magnetisierung) nicht mehr rückgängig machen. Das ferromagnetische Material besitzt nach der Magnetisierung dauerhaftes und starkes magnetisches Moment, von welchem ein magnetisches Feld ausgeht. Ferromagnetische Materialien sind demnach sogenannte Dauer- oder Permanentmagnete und werden von magnetischen Feldern sehr stark angezogen. Nur durch Erhitzen der magnetisierten Materialien über die so genannte Curie-Temperatur lässt sich die Magnetisierung rückgängig machen. Die Materialien sind oberhalb der Curie-Temperatur paramagnetisch. Die Curie-Temperatur entspricht der kritischen Temperatur, bei der die thermische Energie der einzelnen Atome die Austauschenergie der Elementarmagnete überschreitet und die gegenseitige Ausrichtung rückgängig gemacht wird. Oberhalb der Curie-Temperatur findet keine spontane Ausrichtung der Elementarmagnete mehr statt. Auch die Magnetisierung durch ein externes Magnetfeld ist viel schwächer. Die Curie-Temperatur liegt bei allen bekannten Ferromagneten unter dem Schmelzpunkt. Daher lässt sich ein Ferrofluid nicht einfach durch Erhitzen ferromagnetischer Materialien herstellen.

b) Erklären Sie am Beispiel von Natriumstearat (= Natriumsalz der Octadecansäure  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COO}^-\text{Na}^+$ ), dass Tenside die Zusammenlagerung von magnetisierbaren Nanopartikeln sowohl in Wasser als auch in Öl als Trägerflüssigkeit verhindern können.

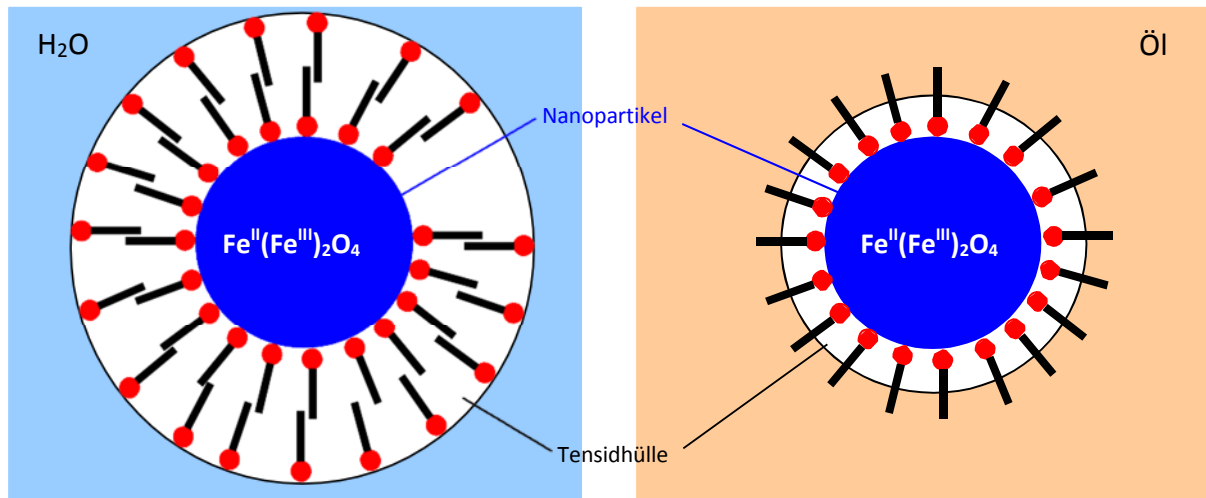
Tensidanionen wie das Stearat-Ion sind amphiphil, d.h. sie besitzen ein polares und ein unpolares Ende. An der Oberfläche der Nanopartikel lagern sich die Stearat-Ionen zu Micellen zusammen. Bei Öl als Trägerflüssigkeit entsteht eine einfache Hülle (Monolayer), wobei die polaren Carboxylat-Enden zum Nanopartikel orientiert sind und die unpolaren Alkylreste in die unpolare Flüssigkeit Öl ragen. Bei Wasser als Trägerflüssigkeit entsteht eine doppelte Hülle (Bilayer; Vergleich: Zellmembran).

**Abb. 12:** Stearat-Anion (Octadecansäure-Anion) (eigene Quelle)



In Wasser als Trägerflüssigkeit:

In Öl als Trägerflüssigkeit:



**Abb. 13:** Schemadarstellung zur Oberflächenfunktionalisierung von Eisenoxid-Nanopartikeln in unterschiedlichen Trägerflüssigkeiten (eigene Quelle)

c) Formulieren Sie auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse einen Merksatz zu Eigenschaften von Nanopartikeln.

Nanopartikel können aufgrund der relativen Vergrößerung der reaktiven Oberfläche ein verändertes chemisches Reaktionsvermögen zeigen (s. pyrophores Eisen) bzw. außergewöhnliche physikalische Eigenschaften aufweisen (s. Superparamagnetismus bei Magnetit-Nanoteilchen).

**Versuch 4: Ferrofluid**
**Chemikalien**

 Eisen(II)-chlorid Tetrahydrat  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 

 Eisen(III)-chlorid Hexahydrat  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 

 Salzsäure ( $c = 2 \text{ mol/l}$ )

30%-ige Ammoniak-Lösung

 25%-ige Tetramethylammoniumhydroxid-Lösung  $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+(\text{OH})^-$ 

destilliertes Wasser

**Glossar:**

*Hydrat:* Kristallwasser oder auch Hydratwasser ist die Bezeichnung für Wasser, das im kristallinen Festkörper gebunden vorkommt. Kristallwasserhaltige Substanzen werden auch als Hydrate bezeichnet. Dabei sind Wassermoleküle im Kristall eingebaut. Die Anzahl der Wassermoleküle pro Formeleinheit wird mit griechischen Zahlworten angegeben (mono- = 1, di- = 2, tri- = 3 usw.).

In der Formel wird das Wasser durch einen Punkt abgesetzt angegeben.

Z.B. Eisen(III)-chlorid Hexahydrat =  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Es besteht aus  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen, an die je 6  $\text{H}_2\text{O}$ -Moleküle angelagert sind, und  $\text{Cl}^-$ -Ionen.

**Material**

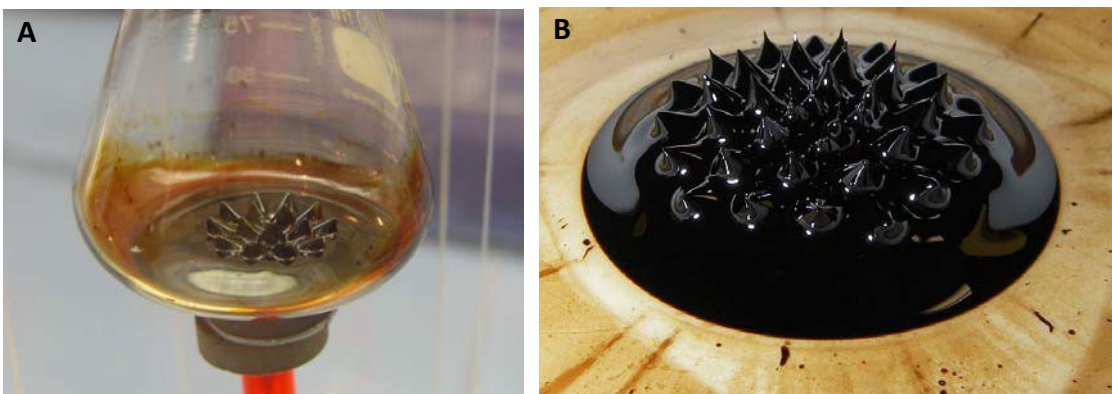
100 ml Messzylinder, 200 ml Messzylinder, 10ml-Pipette mit Pipettierhilfe, 2 verschließbare 100 ml-Glasflaschen, 1 verschließbare 1000 ml-Glasflasche, Waage (Genauigkeit bis 0,01 g), Wägeschalen, Spatel, Magnetrührer, Rührfisch, 2 Bechergläser (100 ml), Plastik- Pasteurpipetten, Stoppuhr, starker Magnet (Haftkraft 3-4 kg), Rührfischangel

**Versuchsdurchführung**
**Herstellung des Ferrofluids**

- 1 ml Eisen(II)-chlorid-Lösung ( $c = 2 \text{ mol/l}$ ) in ein 100 ml Becherglas pipettieren und einen Rührfisch hinzugeben.
- 4 ml Eisen(III)-chlorid-Lösung ( $c = 1 \text{ mol/l}$ ) zur Eisen(II)-chlorid Lösung hinzu pipettieren und auf Magnetrührer rühren lassen.
- Während 5 min (Stoppuhr benutzen) 50 ml Ammoniak-Lösung ( $c = 1 \text{ mol/l}$ ) mit einer Plastikpasteurpipette tropfenweise hinzufügen. Wichtig: Besonders zu Beginn muss die Ammoniak-Lösung unbedingt tropfenweise zugegeben werden. Zudem ist entscheidend, dass die vorgegebenen 5 min eingehalten werden. Falls am Schluss die Zeit knapp wird, können die letzten Milliliter der Ammoniak-Lösung auch rascher zugegeben werden.
- Nachdem die gesamten 50 ml Ammoniaklösung ( $c = 1 \text{ mol/l}$ ) zugegeben wurden, den Magnetrührer ausschalten und den Rührfisch so schnell wie möglich mit der Rührfischangel (eingepackt in eine Plastikhülle) entfernen. Dabei unbedingt Handschuhe tragen. Den Rührfisch und die Rührfischangel auf ein Papier- Taschentuch legen und später säubern.
- Anschliessend unterhalb des Becherglases einen starken Magneten platzieren und solange warten, bis sich die entstandenen Magnetit-Teilchen am Boden des Becherglases abgesetzt haben. Der Überstand sollte nahezu klar sein. Je nach Stärke des verwendeten Magneten dauert dieser Vorgang nur wenige Sekunden.
- Ohne den Magneten zu entfernen, den klaren Überstand in ein Abfallbehältnis entleeren (abdekantieren). Danach das Becherglas zu einem Drittel mit dest. Wasser füllen und dieses gleichfalls abdekantieren. Dabei ist es wichtig, dass schnell gearbeitet wird, denn je länger die Magnetit-Teilchen mit dem Magneten zurückgehalten werden, desto eher verklumpen sie und können nachher nur noch mühsam im Wasser aufgeschwemmt werden.

- Den Magneten entfernen, das Becherglas abermals zu einem Drittel mit dest. Wasser auffüllen und die sich zuvor am Boden des Becherglases abgesetzten Magnetit-Teilchen mit einer Plastik-Pasteurpipette im Wasser aufschwemmen, bis die schwarze Lösung leicht zähflüssig ist.
- Die schwarze Flüssigkeit anschließend in eine Wägeschale überführen, diese vorsichtig auf dem Magneten platzieren und warten, bis sich die Magnetit-Teilchen abermals am Boden abgesetzt haben.
- Den klaren Überstand ein weiteres Mal abdekantieren. Das Wasser sollte jedoch nicht vollständig entfernt werden. Auch hier muss schnell gearbeitet werden. Anschließend mit einer Plastik-Pasteurpipette ca. 1 ml 25%ige Tetramethyl- ammoniumhydroxid-Lösung dazu pipettieren. Danach gut mischen, indem der Magnet während ca. 2 min unter der Wägeschale, in der sich die Magnetit-Teilchen befinden, kreisförmig bewegt wird.
- Die restliche Flüssigkeit sollte danach noch einmal abdekantiert werden. Das in der Wägeschale zurückbleibende, stark zähflüssige Ferrofluid kann nun durch den Magneten entlang der Feldlinien ausgerichtet werden. Es bilden sich igelartige Strukturen.

**Abb. 11:** "Igelartige" Strukturen eines Ferrofluids im Magnetfeld



**Bildquelle:**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid>, Urheber: (A) Mnof; (CC NC-BY-SA 3.0)  
(B) Steve Jurvetson, (CC BY-2.0)

### Beobachtungen und Erläuterungen

Notieren Sie Ihre Beobachtungen und bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

- Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung der Magnetit-Nanopartikel.  
(Tippkarte 3)
- Erläutern Sie die Bedeutung der Zugabe von Tetramethylammoniumhydroxid zum Reaktionsansatz.  
(Tippkarte 4)

### Text- u. Informationsquelle:

Swiss Nano-cube – Die Innovationsgesellschaft, St. Gallen, <http://www.swissnanocube.ch/nano-teach-box/>,  
Dez. 2010

Fonds der Chemischen Industrie (FCI) Frankfurt a.M., <http://fonds.vci.de/>, NanoBoX – Wunderwelt der  
Nanomaterialien, Nov. 2009



TIPPKARTE 3: **Ferrofluid**

**Edukte**

Eisen(II)-chlorid, Eisen(III)-chlorid, Ammoniak-Lösung

**Produkte**

Magnetit, Ammoniumchlorid

TIPPKARTE 4: **Ferrofluid**

**Chemische Formel von Tetramethylammoniumhydroxid:**



Die Hydroxid-Ionen lagern sich direkt an die Oberfläche der Nanopartikel aus Magnetit an. Die Tetramethylammonium-Ionen richten sich so aus, dass die positiven Ladungen nach außen gerichtet sind.

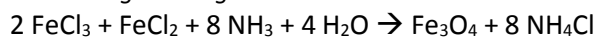
**Lösungshinweise zum Versuch 4: Ferrofluid**

**Beobachtungen und Erläuterungen**

- Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung der Magnetit-Nanopartikel.

Bei der Ausfällung der Magnetit-Nanopartikel ( $\text{Fe}^{\text{II}}(\text{Fe}^{\text{III}})_2\text{O}_4$ ) werden Eisen(II)-Chlorid Tetrahydrat, Eisen(III)-Chlorid Hexahydrat und 1 M Ammoniak-Lösung verwendet. Als Nebenprodukt entsteht Ammoniumchlorid ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Die Verwendung von Salzsäure als Lösungsmittel für die Eisenchlorid-Lösungen verhindert die Bildung von unerwünschtem Eisenhydroxid. Nach der Ausfällung der Magnetit Nanopartikel wird das überschüssige Ammoniak und das Ammoniumchlorid durch Abdekantieren des klaren Überstands und die anschließende Zugabe von Wasser entfernt.

Reaktionsgleichung:

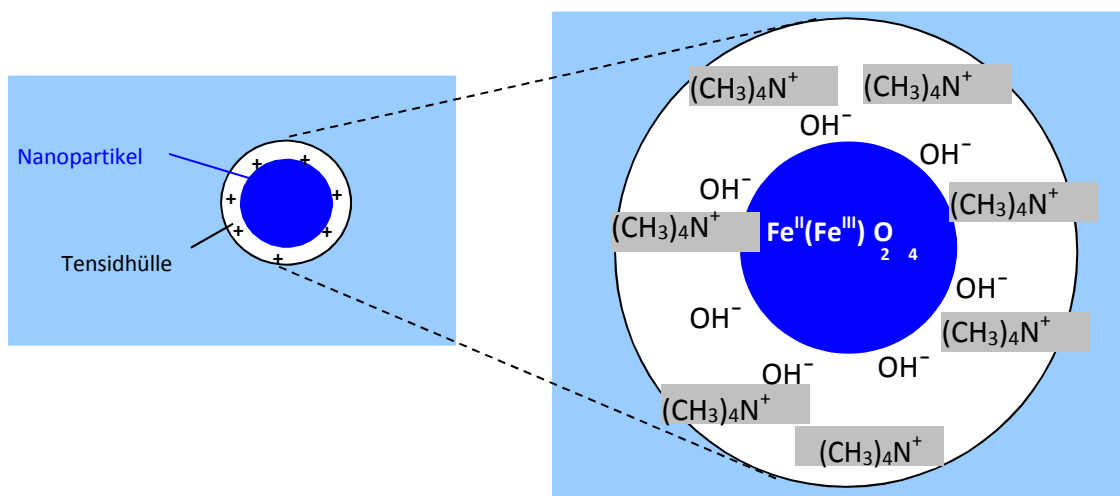


- Erläutern Sie die Bedeutung der Zugabe von Tetramethylammoniumhydroxid zum Reaktionsansatz.

Oberflächenfunktionalisierung

Die Trägerflüssigkeit, in der sich das Ferrofluid befindet, ist Wasser. Damit die Nanopartikel darin kolloidal dispergieren, muss deren Oberfläche polar sein. Zur Oberflächenbehandlung wird in diesem Experiment Tetramethylammoniumhydroxid verwendet. Auf der Partikeloberfläche richten sich die positiv geladenen Tetramethylammonium-Moleküle nach außen hin aus, während die Hydroxid-Gruppen auf der Oberfläche der Magnetit-Teilchen binden. Die Oberfläche aller Partikel ist somit nach der Behandlung positiv geladen. Die um das Partikel angeordneten Ionen bilden eine Nanosphäre. Die sich abstoßenden Partikel können nicht verklumpen, wodurch eine stabile Dispersion in Wasser entsteht, ein Ferrofluid.

**Abb. 14:** Schemadarstellung zur Oberflächenfunktionalisierung (eigene Quelle)



**Versuch 4: Ferrofluid**
**Chemikalien**

 Eisen(II)-chlorid Tetrahydrat  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 

 Eisen(III)-chlorid Hexahydrat  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 

 Salzsäure ( $c = 2 \text{ mol/l}$ )

30%ige Ammoniak-Lösung

 25%ige Tetramethylammoniumhydroxid-Lösung  $(\text{CH}_3)_4\text{N}^+(\text{OH})^-$ 

destilliertes Wasser

**Berechnungshilfen zur Herstellung der Lösungen**

## Berechnungen

Anzahl Schüler = N (Bei einer ungeraden Anzahl Schüler sollte N+1 als N genommen werden) Anzahl

 Zweiertteams =  $(N/2) = n$ 

Reserve: „Rot markiert“

**Tabelle 1:** Berechnungsschlüssel zur Ermittlung der Chemikalienmengen

	Pro Experiment	Pro Klasse (Zweiterteams) (inkl. Reserve)	24 Schüler
<b>Salzsaure Eisen(II)chlorid-Lösung</b> <b>2 M <math>\text{FeCl}_2</math> (2M HCl)</b>			
$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ HCl	0,3976 g	$[(0,3976 \text{ g}) \cdot n] + (0,7952 \text{ g})$	5,5664 g
( $c = 2 \text{ mol/l}$ )	1 ml	$[(1 \text{ ml}) \cdot n] + (2 \text{ ml})$	14 ml
<b>Salzsaure Eisen(III)chlorid-Lösung</b> <b>1 M <math>\text{FeCl}_3</math> (2M HCl)</b>			
$\text{FeCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ HCl	1,0813 g	$[(1,0813 \text{ g}) \cdot n] + (2,1624 \text{ g})$	15,138 g
( $c = 2 \text{ mol/l}$ )	4 ml	$[(4 \text{ ml}) \cdot n] + (8 \text{ ml})$	56 ml
<b>Ammoniaklösung</b> <b>1 M <math>\text{NH}_3</math> (<math>\text{H}_2\text{O}</math>)</b>			
$\text{NH}_3$ 30%	3,334 ml	$[(3,334 \text{ ml}) \cdot n] + (1,667 \text{ ml})$	41,7 ml
Dest. Wasser	46,666 ml	$[(46,666 \text{ ml}) \cdot n] + (23,333 \text{ ml})$	583,3 ml

Arbeitsblatt 5: Nanogold

## BUNT durch nano

In der Welt der Zwerge ist Licht ganz besonderen Gesetzen unterworfen

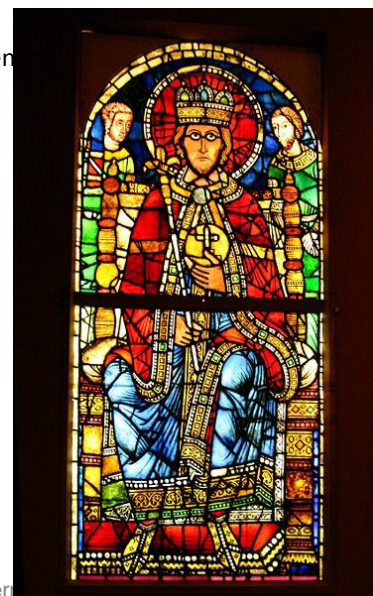
Im Nanokosmos folgt so Manches ganz eigenen Gesetzen und Regeln. Das prägt auch die Farben: Gold ist zum Beispiel nicht gold-gelb, sondern rot – oder auch blau-violett. Bekannt war schon seit der Antike, dass fein zerriebenes Gold bei der Glasherstellung zu brillanten Farbgebungen führt (s. Abb. 6 u. 7). Das Warum wurde jedoch nicht verstanden. Darauf stieß erst Mitte des 19. Jahrhunderts der Physiker und Chemiker Michael Faraday: Er erkannte, dass die leuchtenden Farben tatsächlich auf reines Gold zurückgingen – und nicht etwa auf eine farbige Goldverbindung – und dass vor allem die geringe Größe der Teilchen für den Effekt verantwortlich war.



**Abb. 15:** Spätromischer Lycurgus-Becher (Britisches Museum London)

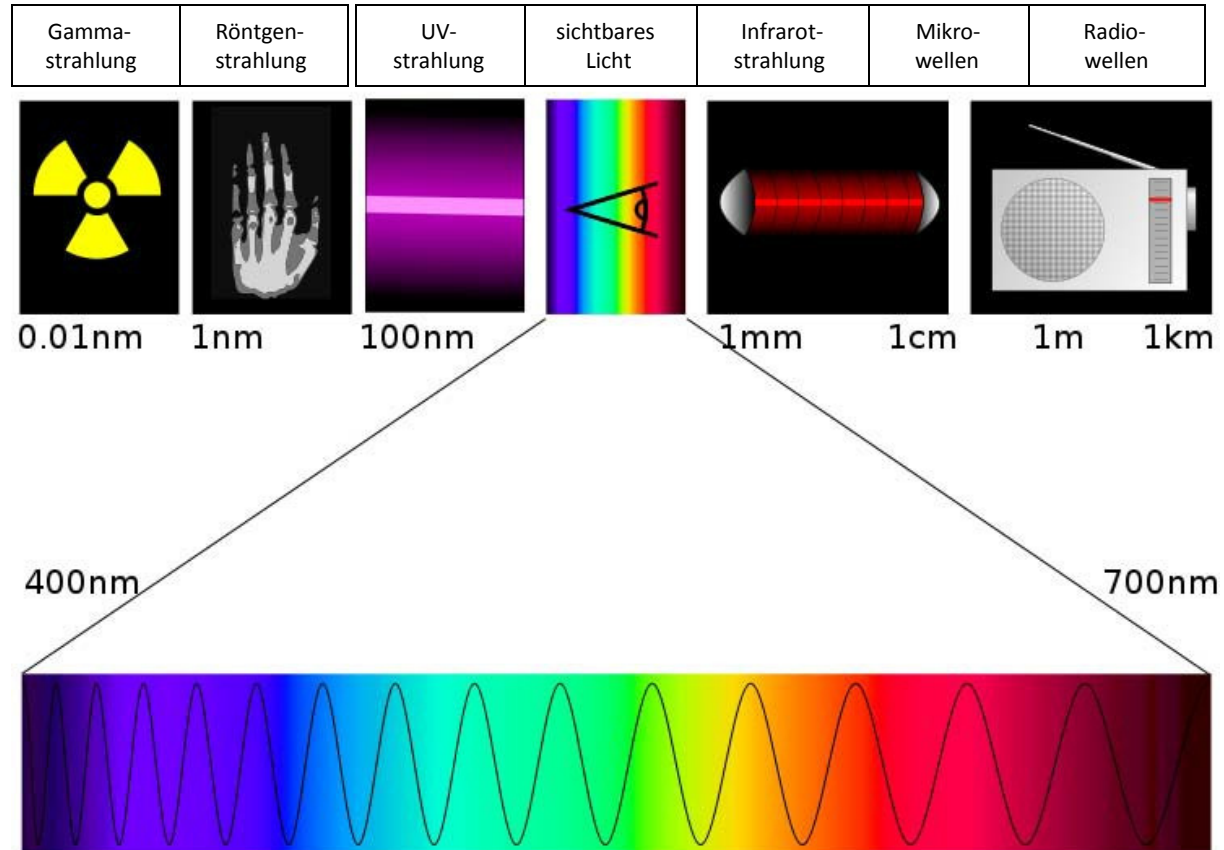
Der aufwendig verzierte Glaspokal wirkt im normalen Tageslicht milchig-grün (links), erstrahlt aber in leuchtendem Rot, wenn man Licht hindurchscheinen lässt (rechts). Sein Geheimnis: In das Glas eingearbeitet sind Silber- und Goldteilchen mit Durchmessern von etwa siebenzig Nanometern.

**Abb. 16:** Kaiserfenster aus dem 13. Jahrhundert (Straßburger Münster; heute im Musée de l'Œuvre Notre-Dame) Kirchenfenster, deren tiefrotes und violett Glas häufig mit Goldpurpur eingefärbt war – und der verdankte seine Farbe eben jenen fein verteilten Goldpartikeln, deren Größe im Bereich weniger Nanometer liegt.



**Exkurs: Licht und Farben**

Licht ist der für das menschliche Auge wahrnehmbare Teil des elektromagnetischen Spektrums (Wellenlängenbereich von 380 bis 750 nm). Durch elektromagnetische Strahlung wird Energie portionsweise (=gequantelt) übertragen (bei Licht = Photonen).



**Abb. 17:** Spektrum elektromagnetischer Wellen

Farben entstehen durch Wechselwirkung von Licht mit Elektronen einer Substanz. Hierbei kann zwischen folgenden Wechselwirkungen unterschieden werden:

- a) **Absorption** und **Reflektion**: die Anregung von Elektronen durch Absorption bestimmter Wellenlängenbereiche des sichtbaren Lichts und Reflektion der nicht absorbierten Anteile (Absorption des gesamten sichtbaren Lichts -7 Gegenstand erscheint schwarz;  
 Reflektion des gesamten sichtbaren Lichts -7 Gegenstand erscheint weiß;  
 Absorption bestimmter Anteile des sichtbaren Lichts -7 Gegenstand ergibt den Farbeindruck der Komplementärfarbe  
 z.B. Absorption von grünem Licht + Reflektion der roten und blauen Spektralanteile -7 Farbeindruck: violett)
- Beispiele:** Farben der meisten Tiere und Pflanzen, Metalle wie Gold oder Kupfer, Edelsteine wie Rubin oder Smaragd, mineralische Pigmente
- b) **Emission**: Übergänge angeregter Elektronen bei selbst leuchtenden Objekten  
**Beispiele:** Sonne, Blitze, Flammen, Lichtbögen
- c) **Richtungsänderung**: Wechselwirkung von Licht mit Elektronen der Materie führt zur Richtungsänderung des Lichts:
- Brechung (z.B. Regenbogen)
  - Streuung (z.B. roter Sonnenuntergang, blauer Himmel)
  - Interferenz (z.B. Federn von Kolibris oder Pfauen, Ölfilm auf Wasser, Seifenblase)
  - Beugung (z.B. CD-ROM, bestimmte Käfer- und Schmetterlingsflügel)

Farben und deren Wahrnehmung können nicht allein auf physikalischer Ebene erklärt werden, sondern sind vor allem auch ein sinnesphysiologischer Vorgang im Auge sowie die zentralnervöse Verarbeitung der Signale im Gehirn.

### Abhängigkeit von Farbe und Partikelgröße

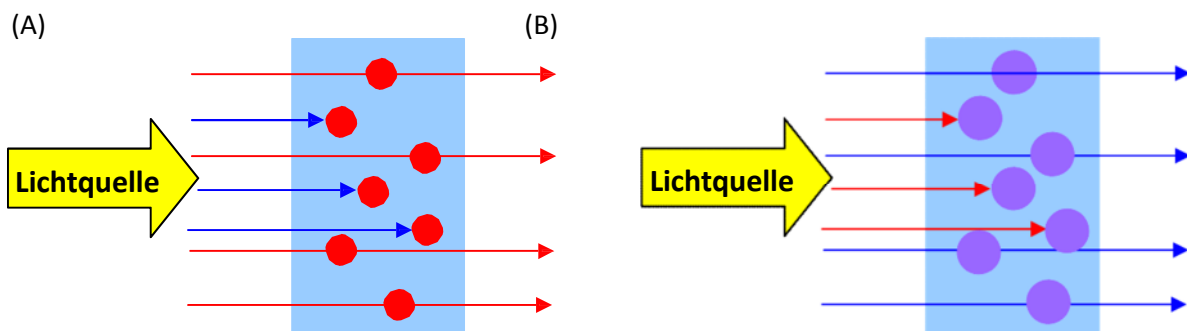
Gold- und auch Silber-Nanopartikel zeigen interessante Farbeffekte im sichtbaren Spektralbereich: die Farbe des Metalls verändert sich in Abhängigkeit von der Größe und Form der Nanoteilchen stark. Zum Beispiel sehen Dispersionen von Gold-Nanopartikeln (auch *Goldsol* genannt) mit Durchmessern von 20-30 nm in Wasser rot aus; größere Gold- Nanopartikel oder Zusammenlagerungen mehrerer kleiner Nanopartikel erscheinen violett bis dunkelblau.

Bei der Absorption der einfallenden Lichtwellen werden Elektronen auf energiereichere Niveaus angehoben. Bei Rückkehr auf das energieärmere Niveau wird Energie in Form von Streulicht frei. Welche Lichtwellen absorbiert und welche durchgelassen (=transmittiert) werden, hängt von der Partikelgröße ab:

Y Partikel mit 20 – 30 nm Durchmesser absorbieren vorwiegend kurzwelliges blaues Licht und transmittieren rotes Licht. Sie erscheinen daher rot. (s. *Abb. 18 A*)

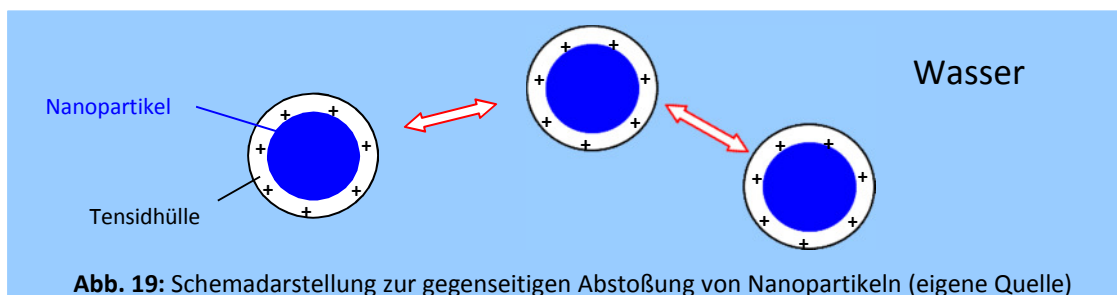
Y Größere Partikel werden durch Licht mit tieferen Frequenzen (rotes Licht) angeregt und transmittieren blaues Licht. Sie erscheinen daher violett bis blau, jedoch mit abnehmender Intensität, da sie weniger stark absorbieren. (s. *Abb. 18 B*)

**Abb. 18:** Abhängigkeit von Farbe und Partikelgröße (eigene Quelle)



### Oberflächenfunktionalisierung von Nanopartikeln:

Durch Zugabe bestimmter Substanzen (z.B. Tenside) wird die kolloidale Dispersion stabiler. Die Anlagerung dieser Moleküle an die Oberfläche der Nanopartikel führt zur gegenseitigen Abstoßung. Zusammenlagerung zu großen Aggregaten von Nanopartikeln und Trennung der festen Nanopartikel von der Trägerflüssigkeit durch Sedimentieren wird so verhindert.



**Abb. 19:** Schemadarstellung zur gegenseitigen Abstoßung von Nanopartikeln (eigene Quelle)

Je nach Beschaffenheit dieser Substanzen lassen sich die Nanopartikel in unterschiedlichen Trägerflüssigkeiten (hydrophil z.B. Wasser oder hydrophob z.B. Öl) dispergieren. Die angelagerten Moleküle bilden eine Hülle um die Nanopartikel (=Nanosphäre), die auch Auswirkungen auf die Farbe der Dispersion hat.

### Glossar:

In einer **Dispersion** sind sehr kleine Teilchen (so genannte **Nanopartikel** od. **Kolloide**) eines bestimmten Materials im **Dispersionsmittel** fein verteilt. Die Partikel bestehen aus mehr als nur einem Atom und sind 1-1000 nm groß.

Nicht zu verwechseln mit: **Lösung** = alle Atome / Ionen sind vollständig gelöst und von Molekülen des **Lösungsmittels** umgeben.

Heutzutage kommen die Erkenntnisse aus der Nanotechnologie bei der gezielten Entwicklung so genannter Effekt- oder Flipflopplacke zum Tragen. Diese Speziallacke enthalten winzige Plättchen aus Silizium-, Aluminium- oder Eisenoxid, die von einem weiteren Metalloxid und einer Reflektorschicht umhüllt sind. Abhängig von Schichtfolge und Schichtdicke des Metalloxids kommt es bei Lichteinfall zu unterschiedlichen Interferenz und damit Farbeffekten, die zudem auch abhängig vom Blickwinkel sein können. Anwendung finden sie vor allem in der Automobilbranche.

**Praktischer Teil:**

Führen Sie Versuch 5 durch (Hinweise und Anleitung s. Anlage). Notieren Sie Ihre Beobachtungen und geben Sie jeweils eine Erklärung.

**Quellennachweise:****Text- und Informationsquellen:**

- Swiss Nano-cube – Die Innovationsgesellschaft, St. Gallen, <http://www.swissnanocube.ch/nano-teach-box/>, Dez. 2010
- Lehrer-online: „Herstellung und Untersuchung von Nano-Goldpartikeln“, K. Prete, Dr. W. Zehren, Prof. Dr. R. Hempelmann, <http://www.lehrer-online.de/nano-goldpartikel.php?sid=60588101881740310529628882888780>, Stand: 18.02.2010
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Entstehung\\_von\\_Farben](http://de.wikipedia.org/wiki/Entstehung_von_Farben), Stand 8.1.2011
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Licht>, Stand 8.1.2011
- Chemie heute – Sekundarstufe II, „Farbstoffe – vom Königspurpur zum Jeansblau“, Schroedel Verlag Hannover, 1998
- Elemente Chemie – Kursstufe, „Licht und Farbe“, Klett-Verlag Stuttgart, 2010

**Bildquellen:**

**Abb. 15:** [http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight\\_objects/pe\\_mla/t/the\\_lycurgus\\_cup.aspx](http://www.britishmuseum.org/explore/highlights/highlight_objects/pe_mla/t/the_lycurgus_cup.aspx);

Bildurheber: © Trustees of the British Museum (Nutzungsrechte eingeholt und dokumentiert)

**Abb. 16:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Kirchenfenster>, Bildurheber: Rama, (CC BY-SA 2.0)

**Abb. 17:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Licht>; Bildurheber: Tatoute und Phrood, (CC BY-SA 3.0)

## Versuch 5: Nanogold

### Chemikalien

0,88 mmol Tetrachlorgold(III)säure-Lösung ( $\text{HAu(III)Cl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ;  $M = 393,83 \text{ g/mol}$ ) 1%

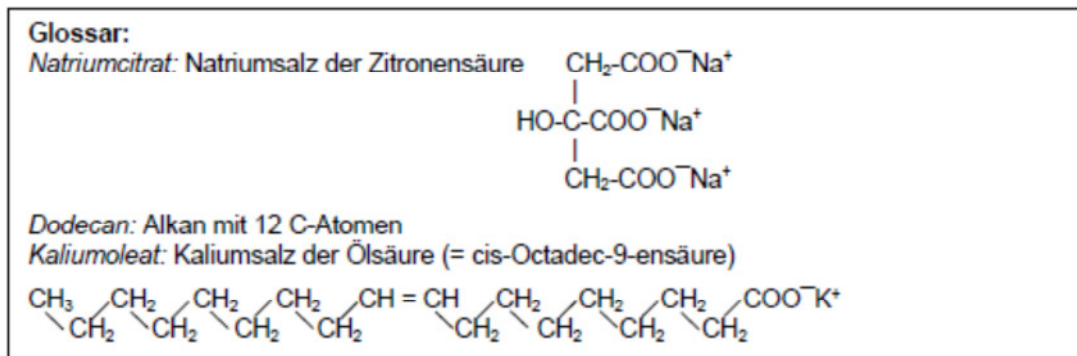
Trinatriumcitrat- Lösung ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $M = 294,10 \text{ g/mol}$ )

4% Natriumchlorid- Lösung ( $\text{NaCl}$ ;  $M = 58,44 \text{ g/mol}$ )

Dodecan  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$

Kaliumoleat  $\text{C}_{18}\text{H}_{33}\text{KO}_2$  ( $\text{CH}_3\text{-(CH}_2)_7\text{-CH=CH-(CH}_2)_7\text{COO}^-\text{K}^+$ )

destilliertes Wasser



### Material

2 hitzebeständige Reagenzgläser, 10 ml-Pipette mit Pipettierhilfe, Plastikpasteurpipetten, Magnetrührer mit Heizplatte, 250 ml-Becherglas, Reagenzglasklammer, Reagenzglasständer, Schnappdeckelgläschen, Rührfisch, Spatel, Petrischalen, Laserpointer

### Versuchsdurchführung

#### Herstellung von Goldnanopartikeln

- Jeweils 4 ml der Goldsäure-Lösung werden in 2 Reagenzgläser gegeben. Beide Reagenzgläser mit Goldsäure-Lösung werden zunächst in einem leicht siedenden Wasserbad erhitzt und dann mit 3 Tropfen 1%-Trinatriumcitrat-Lösung versetzt.
- Die Reaktionsansätze werden weiter erhitzt. **Beachten Sie die Farben der Lösungen während der Reaktion genau!!**
- Sobald in beiden Reagenzgläsern die darin befindliche Lösung dunkelrot ist, nimmt man beide Reagenzgläser aus dem Wasserbad und lässt sie abkühlen.

#### Farbvariationen mit Goldnanopartikeln

- (A) Ein Reagenzglas mit abgekühltem rotem Nanogoldsol wird auf zwei Petrischalen aufgeteilt. In eine Petrischale wird tropfenweise Natriumchlorid-Lösung dazu gegeben und gemischt. **(Beobachtung)**
- (B) Die rote Nanogold-Dispersion aus dem 2. Reagenzglas wird in ein kleines Schnappdeckelglas mit Rührfisch überführt und vorsichtig mit 4 ml Dodecan überschichten. Das Schnappdeckelglas danach verschließen.
- 5 mg Kaliumoleat mit einem Spatel zugeben und 10 min. heftig rühren bis die wässrige Phase trüb geworden ist.
- Nach 10 min. unter weiterem Rühren so viel Natriumchlorid mit einem Eisenspatel dazugeben, bis das trübe Gemisch eine dunkelblaue Farbe annimmt. Danach für 2-3 min. weiterrühren.
- Anschließend den Magnetrührer ausschalten und warten, bis sich die blauen Nanopartikel in der oberen, organischen Phase (Dodecan) sammeln.



### Beobachtungen und Erläuterungen

Notieren Sie Ihre Beobachtungen und bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

- Bei der Herstellung von Goldnanopartikel wird elementares Gold gebildet.
  - a) Benennen Sie den Reaktionstyp.
  - b) Begründen Sie und erläutern Sie die 2 Funktionen von Natriumcitrat für die Reaktion.
  - c) Erläutern Sie, weshalb ein Ausfällen elementarer Goldteilchen nicht zu beobachten ist. Zeigen Sie, dass es sich tatsächlich um Dispersionen mit Nanopartikeln handelt.

**(Tippkarte 5)**

- Erläutern Sie die Auswirkung der Zugabe von Natriumchlorid zum Reaktionsansatz (Farbvariante A).  
**(Tippkarte 6)**
- Erläutern Sie die Auswirkung der Zugabe von Kaliumoleat (= Kaliumsalz der Ölsäure (= cis-Octadecensäure)) zum Reaktionsansatz (Farbvariante B).  
**(Tippkarte 7)**

#### Text- u. Informationsquelle:

Swiss Nano-cube – Die Innovationsgesellschaft, St. Gallen, <http://www.swissnanocube.ch/nano-teach-box/>, Dez. 2010

Fonds der Chemischen Industrie (FCI) Frankfurt a.M., <http://fonds.vci.de/>, *NanoBoX – Wunderwelt der Nanomaterialien*, Nov. 2009

Lehrer-online, Katrin Prete, Dr. Walter Zehren, Prof. Dr. Rolf Hempelmann, Herstellung und Untersuchung von Nano-Goldpartikeln, <http://www.lehrer-online.de/nano-goldpartikel.php>, 18.02.2010

TIPPKARTE 5: Nanogold

**Teilreaktion 1:**

Dreiwertige Gold-Ionen werden zu elementarem Gold ( $\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}^0$ ).

**Teilreaktion 2:**

Citrat-Ion liefert unter  $\text{CO}_2$ -Abspaltung Elektronen.

Überschüssige Citrat-Ionen lagern sich an die Oberfläche der Nanogoldpartikel an und bilden eine hydrophile, negativ geladene Nanosphäre.

	<b>Sediment- bildung</b>	<b>Tyndall-Effekt</b>	<b>Partikel- durchmesser</b>	<b>Beispiel aus Alltag</b>
Lösung	nein	keine Lichtstreuung	kleiner 1 nm	Mineralwasser, Tee
Kolloidale Lösung - Dispersion	nein	Lichtstreuung	1 - 1000 nm	Milch, Tinte
Suspension	ja	Lichtstreuung	größer 1000 nm	Schlammwasser, Orangensaft mit Fruchtfleisch



TIPPKARTE 6: Nanogold

Natriumionen verhindern die Ausbildung einer hydrophilen, negativ geladenen Nanosphäre aus Citrat-Ionen an der Oberfläche der Nanogoldpartikel.



TIPPKARTE 7: Nanogold

Die Oleat-Ionen lagern sich mit dem negativ geladenen Carboxylrest an der Oberfläche der Nanogoldpartikel. Der hydrophobe Alkylrest ragt nach außen. Es entsteht eine große Nanosphäre um die Goldpartikel.

Lösungshinweise zum Versuch 5: Nanogold

**Beobachtungen und Erläuterungen**

Beob.: Beim Erhitzen des Reaktionsansatzes ändert sich die Färbung von violett über rosarot nach intensiv rot.

Erkl.: Zu Beginn der Reaktion bilden sich noch größere Aggregate von Goldnanopartikeln, die aber bei weiterem Erhitzen aufgrund der thermischen Bewegung zunehmend kleiner werden.

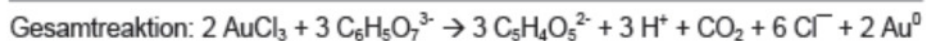
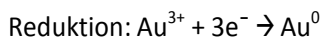


Abb. 20 : Dispersion aus Gold- Nanopartikeln (Goldsol)(eigene Quelle)

- Bei der Herstellung von Goldnanopartikel wird elementares Gold gebildet. Benennen Sie den Reaktionstyp. Begründen Sie und erläutern Sie die 2 Funktionen von Natriumcitrat für die Reaktion. Erläutern Sie, weshalb ein Ausfällen elementarer Goldteilchen nicht zu beobachten ist. Zeigen Sie, dass es sich tatsächlich um Dispersionen mit Nanopartikeln handelt.

Es handelt sich um eine Redoxreaktion.

Dreiwertige Gold-Ionen werden zu elementarem Gold reduziert:



Die nicht umgesetzten Citrat-Ionen dienen der Oberflächenfunktionalisierung und verhindert die Zusammenlagerung und Verklumpung von Goldnanopartikeln. Dadurch entsteht eine stabile Goldnanopartikel-Dispersion. Die negativ geladenen Citrat-Anionen bilden eine Hülle um die Goldpartikel, so dass diese sich gegenseitig abstoßen und nicht verklumpen.

Abb. 21: Veranschaulichung der gegenseitigen Abstoßung von oberflächenfunktionalisierten Gold-Nanopartikeln (eigene Quelle)

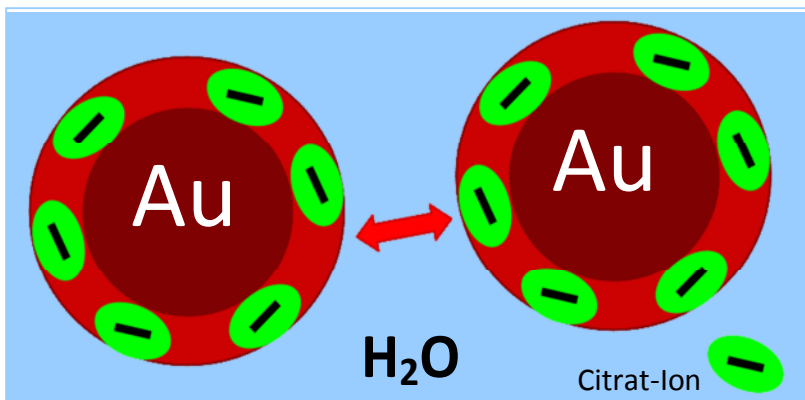


Abb. 22 : Tyndall-Effekt bei Gold-Nanopartikeln (eigene Quelle)



Kolloidale Dispersionen zeigen den Tyndall-Effekt, d.h. sie streuen Laserlicht.

Beob.: Durch Zugabe von Natriumchlorid zur roten Goldsole ändert sich die Farbe nach dunkelblau.

- Erläutern Sie die Auswirkung der Zugabe von Natriumchlorid zum Reaktionsansatz (Farbvariante A).

Die  $\text{Na}^+$ -Ionen stören das Ionengleichgewicht in der Lösung. Sie lösen die negativ geladene Nanosphäre aus Citrat-Ionen auf der Oberfläche der Goldnanopartikel auf und sorgen so dafür, dass ihre gegenseitige Abstoßung aufgehoben wird. Es bilden sich Gold-Aggregate und die Farbe der Dispersion ändert sich von rot zu blau.



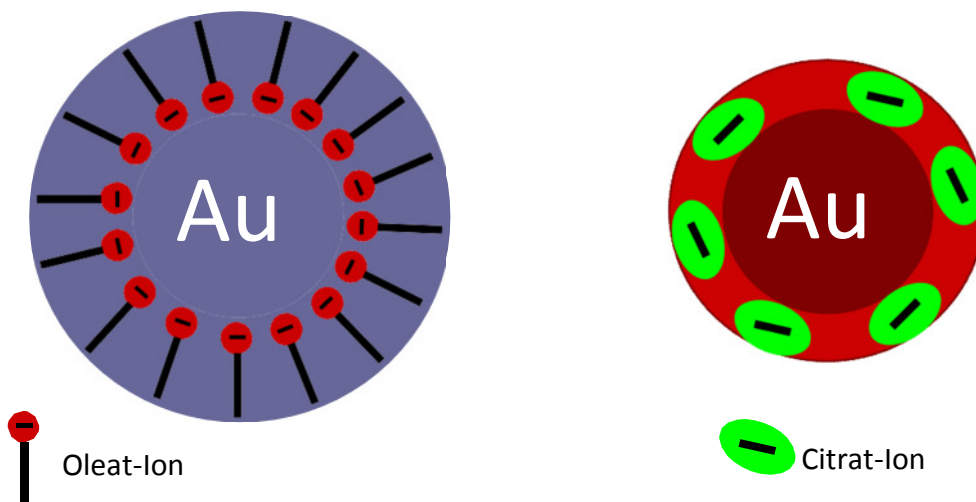
**Abb. 23** : Dispersion aus Gold-Nano-Aggregaten (eigene Quelle)

Beob.: Die obere hydrophobe Flüssigkeitsschicht / -phase wird blau, während die untere wässrige Phase farblos wird.

- Erläutern Sie die Auswirkung der Zugabe von Kaliumoleat (= Kaliumsalz der Ölsäure (= cis-Octadecensäure)) zum Reaktionsansatz (Farbvariante B).

Erkl.: Durch die Oberflächenfunktionalisierung mit Oleat-Ionen sind die Goldnanopartikel nun in Dodecan (organische, hydrophobe Phase) dispergiert. Die voluminösere Nanosphäre aus Oleat-Ionen hat Auswirkungen auf die Absorptions- und Transmissionseigenschaften der Goldnanopartikel: langwelligeres, rotes Licht wird absorbiert und kürzerwelliges, blaues Licht wird transmittiert. Folge: die Dispersion erscheint blau.

**Abb. 24:** Veranschaulichung unterschiedlich oberflächenfunktionalisierter Gold-Nanopartikel (eigene Quelle)



**Experiment 5: Nanogold**

 0,88 mmol Tetrachlorgold(III)säure-Lösung ( $\text{HAu}^{\text{III}}\text{Cl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ;  $M = 393,83 \text{ g/mol}$ ) 1%

 Trinatriumcitrat- Lösung ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $M = 294,10 \text{ g/mol}$ )

 4% Natriumchlorid- Lösung ( $\text{NaCl}$ ;  $M = 58,44 \text{ g/mol}$ )

 Dodecan  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ 

 Kaliumoleat  $\text{C}_{18}\text{H}_{33}\text{KO}_2$ 

destilliertes Wasser

**Material**

2 hitzebeständige Reagenzgläser, 10 ml-Pipette mit Pipettierhilfe, Plastikpasteurpipetten, Magnetrührer mit Heizplatte, 250 ml-Becherglas, Reagenzglasklammer, Reagenzglasständer, Schnappdeckelgläschen, Rührfisch, Spatel, Petrischalen, Laserpointer

**Berechnungshilfe zur Herstellung der Lösungen**

## Berechnungen

Anzahl Schüler = N (Bei einer ungeraden Anzahl Schüler sollte N+1 als N genommen werden) Anzahl

 Zweierteams =  $(N/2) = n$ 

Reserve: „Rot markiert“

**Tabelle 1:** Berechnungsschlüssel zur Ermittlung der Chemikalienmengen

	Pro Experiment	Pro Klasse (Zweierteams) (inkl. Reserve)	24 Schüler
<b>Goldchlorid-Lösung</b> 0.88 mM $\text{HAuCl}_4$ $\text{HAuCl}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	3 ml	$[(3 \text{ ml}) \cdot N] + (6 \text{ ml})$	84 ml
	0,9 mg	$[(0,9 \text{ mg}) \cdot N] + (1,8 \text{ mg})$	25.2 mg
	3 ml	$[(3 \text{ ml}) \cdot N] + (6 \text{ ml})$	84 ml
<b>Natriumcitrat-Lösung</b> 1 % $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4.95 ml (5 g)	$[(4.95 \text{ ml}) \cdot n] + (9.9 \text{ ml})$	69.3 ml (70 g)
	0.05 g	$[(0.05 \text{ g}) \cdot n] + (0.1 \text{ g})$	0.7 g
	4.95 ml	$[(4.95 \text{ ml}) \cdot n] + (9.9 \text{ ml})$	69.3 ml
<b>Kochsalzlösung</b> 4% $\text{NaCl} (\text{H}_2\text{O})$ $\text{NaCl}$ $\text{H}_2\text{O}$	4.8 ml(5 g)	$[(4.8 \text{ ml}) \cdot n] + (9.6 \text{ ml})$	67,2 ml (70 g)
	0.2 g	$[(0.2 \text{ g}) \cdot n] + (0.4 \text{ g})$	2.8 g
	4.8 ml	$[(4.8 \text{ ml}) \cdot n] + (9.6 \text{ ml})$	67.2 ml

Arbeitsblatt 6: Nanosilber

## Keimfrei durch nano

### Silber ein Garant für Gesundheit – wirklich so uneingeschränkt?

Die antibakterielle Wirkung von Silber ist schon zu Zeiten Alexanders des Großen nachzuweisen, jedoch ist unklar, ob der Zusammenhang damals schon bekannt war oder erst später darauf geschlossen wurde. Auf seinen Kriegszügen nach Indien erkrankten seine Soldaten an Durchfall, nicht aber die Heerführer, die ihre Getränke aus Silberbechern zu sich nahmen. Auch in späteren Jahrhunderten wurde die Krankheitskeime hemmende bzw. abtötende Wirkung von Silber durch den Gebrauch silberner oder versilberter Alltagsgegenständen (wenn auch meist nur von den Betuchteren) bewusst oder unbewusst genutzt.



Abb. 25: Silberschatz aus Pompeji, 79 n. Chr.

Silber wurde darüber hinaus bereits im Mittelalter auch für einen ganz anderen Zweck gezielt eingesetzt: Emaille oder Glas lässt sich mit fein verteiltem Silber gelb färben. Hier kam Silber in Form von Nanopartikeln zum Einsatz, als noch keiner von Nanotechnologie sprach. Heutzutage bedient man sich bewusst nanoskaligem Silber. Verbandsmaterial zur Wundversorgung wird mit Nanosilber beschichtet, so dass Bakterien und Pilze kaum eine Chance zum Überleben haben. In Socken bekämpfen sie Gerüche, in Kühlschrankschrankwänden und Klimaanlage den Bakterienbefall. Daneben stecken Silberionen in Zahnpasta, Kosmetika und Frischhaltebeuteln. Silber wirkt in feinstverteilter Form *antimikrobiell*, was aufgrund der großen reaktiven Oberfläche auf die kontinuierliche Abgabe von Silberionen ( $\text{Ag}^+$ ) zurückzuführen ist. Die Silberionen binden an Schwefel, Sauerstoff und Stickstoff, wodurch die Strukturen und Funktionen von Zellen beeinflusst werden. Binden sich Silberionen z.B. an die Proteine der Zellwände von Bakterien, so lösen sich diese auf und das Bakterium stirbt. Vorteilhaft gegenüber anderen *Bakteriziden* ist, dass Silber nahezu ungiftig ist, nicht als krebserregend gilt und ein vergleichsweise geringes Potenzial hat, Allergien auszulösen. Silberionen sind bereits in geringen Konzentrationen (oberhalb  $10^{-9}$  mol/l) *antimikrobiell* wirksam, wodurch schon geringste Mengen des wertvollen Edelmetalls ausreichen, um eine Wirkung zu erzielen (ökonomischer Faktor). Durch die geringe Größe von Nanosilberpartikeln können neue Materialien geschaffen werden, die mit großen, makroskaligen Silberteilchen gar nicht hergestellt werden könnten (z.B. synthetische Polymerfasern).

Seit einigen Jahren ist wieder die wissenschaftlich sehr umstrittene therapeutische Einnahme von *kolloidalem* Silber verstärkt ins Blickfeld der Öffentlichkeit gerückt. *Kolloidales* Silber soll angeblich als Universalantibiotikum wirken und verschiedene Leiden heilen. Wissenschaftliche Studien über die Wirksamkeit gibt es nicht.

Über die Nutzung der Nanotechnologie im Allgemeinen und den Einsatz von Nanosilberpartikeln im Speziellen gibt es derzeit in Medienberichten bzw. auf zahlreichen Internetseiten z.T. recht widersprüchliche Stellungnahmen (s. Informationsblätter 3-5).

**Glossar:**

*antimikrobielle* Substanz: Stoff, der die Vermehrungsfähigkeit oder Infektiosität von Mikroorganismen reduziert oder sie abtötet.

*Bakterizid*: Substanz, die durch eine Schädigung der Zelle Bakterien abtötet.

*Kolloide*: Feinverteilung von sehr kleinen Teilchen (1-1000 nm groß) eines bestimmten Materials in einer Trägerflüssigkeit (= auch **Dispersion**).

**Praktischer Teil:**

Führen Sie zunächst Versuch 6 durch (Hinweise und Anleitung s. Anlage). Notieren Sie Ihre Beobachtungen und geben Sie jeweils eine Erklärung.



**Aufgaben:**

- Erläutern Sie, weshalb ein geringer Rohstoffbedarf bei der Verwendung von Silber in Form von Nanopartikeln neben einem ökonomischen Aspekt auch einen ökologischen Faktor darstellt (Tipp: Wie wird Silber gewonnen?).
- Erstellen Sie eine Hypothese, inwieweit ein massenhaften Einsatz von Silbernanopartikeln in Lebensmitteln, Verpackungsmaterial, Wundauflagen, Textilien und Kosmetika aus ökologischer Sicht kritisch einzustufen ist.
- Beziehen Sie selbst eine Position zur Verwendung von „Dingen des alltäglichen Lebens“, die Silbernanopartikel enthalten. Berücksichtigen Sie dabei auch die aktuelle Faktenlage (s. Informationsblätter 3-5).

**Text- und Informationsquellen:**

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Silber>, (Stand: 14.1.2011)
- Holger Muster, *Nanosilber - Herstellung, Anwendungen und Risikobetrachtung*, <http://www.nanoproducts.de/> (Stand: 11.1.11)
- *Nanosilber statt Antibiotika*, Nano! – Nutzen und Visionen einer neuen Technologie, Landesmuseum für Technik und Arbeit, Mannheim, 2010

**Bildquelle:**

**Abb. 25:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Silber>, Bildurheber: Claus Ableiter, (CC BY-SA 2.5)

**Informationsblatt 3:**

Interview aus *Spektrum der Wissenschaft*, Feb. 2009 (S. 96, gekürzt)

## *Risiko Nanotechnologie?*

René Zimmer ist Nanotechnologie-Koordinator beim Bundesinstitut für Risikobewertung. Im Gespräch mit Björn Lohmann berichtet er vom Stand der Risikoforschung in der Nanotechnologie.

**Spektrum:** *Herr Zimmer, das Bundesinstitut für Risikobewertung befasst sich auch mit der Nanotechnologie in Verbraucherprodukten. Ist Nanotechnologie gefährlich?*

**René Zimmer:** Um abzuschätzen, ob von ihr spezifische gesundheitliche Risiken ausgehen, ist es wichtig zu wissen, ob die eingesetzten Nanomaterialien in einer Matrix gebunden oder ungebunden in Verbraucherprodukten vorliegen. Insbesondere freie Nanopartikel, Nanoröhrchen oder Nanofasern könnten durch ihre geringe Größe, ihre Form, ihre hohe Mobilität und höhere Reaktivität gesundheitliche Risiken hervorrufen. Die größten Risiken sehen Wissenschaftler in der Einatmung von Nanopartikeln. Das Eindringen von Nanopartikeln durch die menschliche Haut kann nach derzeitigem Stand des Wissens weitgehend ausgeschlossen werden. Ob es Risiken durch die Aufnahme von Nanopartikeln über den Magen-Darm-Trakt gibt, ist bislang nicht bekannt.

**Spektrum:** *In den Endanwendungen liegen die Nanoteilchen meist gebunden vor, nicht so während der Verarbeitung. Sind Menschen, die mit Nanoteilchen arbeiten, besonderen Risiken ausgesetzt?*

**Zimmer:** Nach derzeitigem Kenntnisstand kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Inhalation von Nanopartikeln zu Gefährdungen führen kann. Nach den Bestimmungen des Arbeitsschutzgesetzes und der Gefahrstoffverordnung ist der Arbeitgeber aber verpflichtet, Maßnahmen zur Expositionsminimierung zu ergreifen. Staubförmige Nanomaterialien müssen also in flüssigen oder festen Medien gebunden sein und alle Arbeiten möglichst in geschlossenen Apparaturen durchgeführt werden.

**Spektrum:** *Wo kommt der Verbraucher mit Nanoteilchen in Kontakt?*

**Zimmer:** Mittlerweile enthält eine ganze Reihe an Produkten Bestandteile, die mit nanotechnologischen Verfahren hergestellt wurden. So wird zum Beispiel die Krawatte Schmutz abweisend, und Sonnencremes schützen besser vor UV-Licht. Und der Markt für Nanoprodukte wächst rasant. Eine Datenbank des US-amerikanischen Woodrow Wilson International Center listet derzeit etwa 600 Nanoprodukte auf.

**Spektrum:** *Im Fall von Beschichtungen und Versiegelungen, wie sie bei Autos zum Einsatz kommen, sind die Nanoteilchen mit chemischen Gerüsten vernetzt. Was geschieht, wenn sie in die Umwelt gelangen?*

**Zimmer:** Solange Nanopartikel fest in eine Matrix oder eine Suspension eingebunden sind, muss sich der Verbraucher keine Sorgen machen. Und tatsächlich sind die Bruchstücke, die sich aus Nanobeschichtungen lösen könnten, in der Regel mikrometergroß. Toxische Wirkungen von Nanopartikeln, die auf ihrer geringen Größe und höheren Reaktivität beruhen, sind dann nicht mehr zu erwarten.

**Spektrum:** *Vor zwölf Jahren kamen gentechnisch veränderte Pflanzen auf den Markt, die Risikodebatte folgte erst später und mit ihr ein Aufschrei der Bevölkerung. Auch die Nanotechnologie ist mit wenig Begleitdiskussion in den Alltag vorgedrungen. Bleibt das so?*

**Zimmer:** Trotz der Risikodebatte, die derzeit intensiv auf Expertenebene geführt wird, nimmt die deutsche Bevölkerung die Nanotechnologie ganz überwiegend positiv wahr. Das bestätigen uns sowohl die Verbraucherkonferenz zur Nanotechnologie als auch eine jüngst von uns durchgeführte Bevölkerungsbefragung. Dies kann damit zusammenhängen, dass die Nanotechnologie, anders als die Gentechnik, dem Anwender schon in der ersten Produktgeneration Vorteile bietet. Weniger putzen zu müssen, überzeugt viele Menschen. [...]



**Informationsblatt 4:**

**Nanosilber - Risikobetrachtung**

Die Zellwand beim Menschen ist anders aufgebaut als die von Bakterien, so dass die vom Nanosilber abgegebenen Silber-Ionen keine direkte Gefahr darstellen. Allerdings existieren einige indirekte Wirkungen, die ein gewisses Risiko in sich tragen. So könnten auch nützliche Bakterien in der Umwelt abgetötet werden oder gefährliche Mikroorganismen Resistenzen aufbauen, die sie auch vor anderen Antibiotika schützen. Bei Mäusen, die eine wässrige Lösung mit 0,03 mg/l Silber verabreicht bekamen, wurde eine Anreicherung des Metalls in verschiedenen Geweben festgestellt, was zu motorischen Störungen führen kann. Jedoch existieren auch Untersuchungsberichte, nach denen im menschlichen Körper aufgenommenes Silber nach einiger Zeit wieder ausgeschieden wird. Um genauere Abschätzungen über die möglichen Risiken des Nanosilbers zu machen, besteht noch großer Forschungsbedarf.

Texturheber: Holger Muster, *Nanosilber - Herstellung, Anwendungen und Risikobetrachtung*  
<http://www.nanoproducts.de/> (Stand: 11.1.11)

**Food storage material silver nanoparticles *interfere* with DNA replication *fidelity* and bind with DNA**

The *application* of nanotechnology in the food industry will have a profound *impact* on a number of products. As a powerful bactericide, silver is used in food storage, packaging and processing, such as storage containers. Although silver in various chemical forms has toxicity to microorganisms, silver nanoparticles have gained increasing interests due to their strong antimicrobial activities. [...]

Despite the wide application of nanosilver and many related studies on *toxicity* to bacteria, there is still a serious *lack of* information concerning their long-term impact on human health and the environment.

In this study, [...] we found that nanosilver materials bind with genomic DNA [...], and this might be an explanation for the *compromised* DNA replication fidelity.

Texturheber: Wenjuan Yang et al., Teda Bio-X Centre for Systems Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin, Volksrepublik China, Februar 2009

**Glossar:**

*storage*: Lagerung, Aufbewahrung

*to interfere with sth.*: etwas beeinträchtigen

*fidelity*: Genauigkeit

*application*: Einsatz, Anwendung

*impact*: Auswirkung, Einfluss *toxicity*:

Giftigkeit

*lack of sth.*: Mangel

*compromised*: (hier) negativ beeinflusst, beeinträchtigt

**Informationsblatt 5:****Nanosilber**

Die Anwendung von nanopartikulärem Silber im medizinischen Bereich bringt große Vorteile durch seine breite Wirksamkeit gegen eine Vielzahl von Krankheitserregern. Sogar gegen solche, die gegen moderne Antibiotika bereits resistent sind. Der derzeitige Trend zu Nanoprodukten im Alltag führt aber zu einer Ausweitung der Einsatzmöglichkeiten mit unbestimmtem Nutzen und möglichen Gefährdungen für Gesundheit und Umwelt. Die Entstehung von silberresistenten Bakterienstämmen als Folge einer breitflächigen Anwendung von Nanosilber mit niedrigen Konzentrationen ist möglich, wodurch auch die Vorteile der medizinischen Anwendungen verloren gehen könnten. Regelungen für einen umsichtigen und gezielten Einsatz dieses wirkungsvollen *Bakterizids* könnten dem entgegenwirken.

Zur *Umwelttoxizität* und zum Umweltverhalten von Silbernanopartikeln ist noch wenig bekannt. Analogieschlüsse zu klassischen Silberverbindungen sind nur bedingt aussagekräftig, da Nanopartikel andere Eigenschaften aufweisen. Erste Untersuchungen liefern Hinweise, dass Silbernanopartikel ein höheres *toxisches* Potenzial aufweisen als Silberverbindungen und Silberionen. Zurückzuführen ist dies u. a. auf die Depotwirkung der in eine Zelle gelangten Nanopartikel, aus denen kontinuierlich Silberionen abgegeben werden. Es besteht Forschungsbedarf, wie dauerhaft Silbernanopartikel in natürlichen Ökosystemen verbleiben und ob bzw. wie stark sie sich anhäufen können.

Die für Gesundheits- und Umweltthemen zuständigen Behörden stehen wegen der Vielfalt der Nanosilberprodukte und der unterschiedlichen Verbreitungswege vor schwierigen Herausforderungen. Denn das Wissen um die negativen Wirkungen und um Ausbreitungswege von Nanosilber ist noch unvollständig. Da die Anzahl der kommerziellen Anwendungen stetig wächst, ist der zügige Aufbau einer wissenschaftlichen Überwachung und zugleich eines Sicherungssystems erforderlich.

Texturheber: R. Fries et al., Inst. Für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Nanotrust dossiers, „*Nanosilber*“, April 2009  
<http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier010.pdf> (geringfügig verändert; Stand: 14.1.11)

**Glossar:**

*Bakterizid*: Substanz, die durch eine Schädigung der Zelle Bakterien abtötet.

*Toxizität, toxisch*: Giftigkeit, giftig

**Lösungshinweise zu Arbeitsblatt 6:****Aufgaben:**

a) Erläutern Sie, weshalb ein geringer Rohstoffbedarf von Silber neben einem ökonomischen Aspekt auch einen ökologischen Faktor darstellt (Tipp: Wie wird Silber gewonnen?).

**Gewinnung aus Silbererzen**

20% des Silbers wird aus Silbererzen mit Hilfe einer *Natriumcyanid*-Lösung herausgelöst gewonnen.

*Natriumcyanid* ist extrem giftig und umweltschädlich. Wenn es in größeren Mengen in die Umwelt gelangt, ist es eine starke Belastung für das Ökosystem (NaCN: sehr giftig für Wasserorganismen; kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben).

**Gewinnung aus Bleierzen**

Bei der Gewinnung von Silber aus Bleierzen sind mehrere Schmelz- und Siedevorgänge notwendig, bei denen Temperaturen von 400 – 900°C erreicht werden müssen (z.B. Zink-Blei-Silber-Schmelze bis zum Siedepunkt des Zinks (908°C) erhitzen und das Zink abdestillieren). Das so gewonnene Produkt enthält etwa 8–12% Silber. Die verschiedenen Verfahrensschritte sind sehr energieaufwändig.

**Gewinnung aus Kupfererzen**

Silber ist auch in Kupfererzen enthalten. Bei der Kupferherstellung fällt das Silber – neben anderen Edelmetallen – im so genannten Anodenschlamm an.

Zur Silberisolierung muss der Anodenschlamm unter hohem Energieaufwand im Ofen oxidierend geschmolzen werden.

**Raffination**

Rohsilber wird auf elektrolytischem Weg im so genannten *Möbius-Verfahren* gereinigt. Dazu wird das Rohsilber als Anode in eine Elektrolysezelle geschaltet. Als Kathode dient ein Feinsilberblech, als Elektrolyt salpetersaure Silbernitratlösung.

Elektrolysen sind technische Verfahren mit hohem Stromverbrauch.

Silber ist ein Edelmetall, dessen Gewinnung kostenintensiv, energieaufwändig und teilweise durch Einsatz umweltschädlicher Chemikalien realisiert wird. Je weniger vom Rohstoff Silber (z.B. durch Verwendung von Nanopartikeln) bei der Herstellung von Medizinprodukten, Textilien, Kosmetika etc. eingesetzt werden muss, desto günstiger fällt auch die Ökobilanz aus.

(Informationsquelle: verändert nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Silber>, Stand: 14.1.11)

b) Erstellen Sie eine Hypothese, inwieweit ein massenhaften Einsatz von Silberrnanopartikeln in Lebensmitteln, Verpackungsmaterial, Wundauflagen, Textilien und Kosmetika aus ökologischer Sicht kritisch einzustufen ist.

z.B. in massenhafte Verwendung von Silber in täglichen Gebrauchsgegenständen wie Cremes, Wundpflaster, Lebensmittel oder Textilien könnte für die Umwelt ein Risiko darstellen, weil über Abfälle große Mengen an Silber in die Abwässer und somit auch in den Klärschlamm gelangen können. Da Silberionen sämtliche Arten von Bakterien angreifen – auch die nützlichen, die für die Zersetzung in Kläranlagen gebraucht werden oder Bakterien, die sich in Flüssen und Seen befinden – sind mögliche Umweltauswirkungen bei einem massenhaften Eintrag von Silber bzw. Silberionen in die Umwelt nicht auszuschließen.

c) *Beziehen Sie selbst eine Position zur Verwendung von „Dingen des alltäglichen Lebens“, die Silbernanopartikel enthalten. Berücksichtigen Sie dabei auch die aktuelle Faktenlage (s. Informationsblätter 3-5).*

z.B.

- zunächst Sammeln von Informationen, in welchen Alltagsprodukten Silbernanopartikel überhaupt und in welcher Form enthalten sind  
(z.B. in der Datenbank des *Woodrow Wilson International Centers for Scholars* unter <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/> können Informationen zu Nanoprodukten abgerufen werden; denn: nicht alle Produkte, die per Werbung oder Etikett angeblich Nanotechnik sind, enthalten auch tatsächlich Nanopartikel)
- da Langzeitstudien über Auswirkungen von Silber auf die menschlichen Gesundheit bzw. die Umwelt fehlen, würde ich den Gebrauch vermeiden; Einsatz / Verwendung nur dann, wenn keine Alternativen zur Zweckerreichung existieren (so müssen Textilien zur Geruchsvermeidung nicht unbedingt aus Fasern mit Silbernanopartikeln hergestellt werden; Körperhygiene, Kleidungswechsel sowie deren Reinigung erfüllen dies ebenfalls).

## Versuch 6: Nanosilber

### Chemikalien

Silbernitratlösung  $\text{AgNO}_3$  ( $c = 0,1 \text{ mol/l}$ ) 0,1%

Tannin-Lösung ( $\text{C}_{76}\text{H}_{52}\text{O}_{46}$ )

Natriumcarbonat-Lösung  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ( $c = 0,01 \text{ mol/l}$ ) destilliertes

Wasser

### Glossar:

Die *Tannine* sind pflanzliche Gerbstoffe, die in Stauden, Sträuchern und Baumblättern und anderen Pflanzenteilen besonders der Tropen und Subtropen weit verbreitet sind und von Pflanzen fressenden Säugetieren aufgenommen werden. Diese Verbindungen ( $\text{C}_{76}\text{H}_{52}\text{O}_{46}$ ) haben ein molekulares Gewicht von 500-3000 kDa.

### Material

Plastikpasteurpipetten, 50ml-Becherglas, Magnetrührer mit Heizplatte, Rührfisch, Laserpointer, Schnappdeckelgläschen, 2 Leitungskabel mit Krokodilklemmen, Silberdraht, 3 x 9V-Batterien

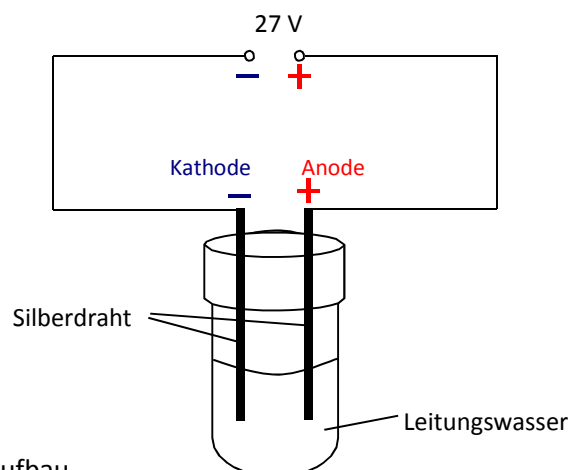
### Versuchsdurchführung

#### (A) Herstellung von Silbernanopartikeln

- 2,25 ml der Silbernitrat-Lösung wird in ein 50ml-Becherglas mit 11 ml destilliertem Wasser versetzt.
- Anschließend 0,5 ml Tannin-Lösung zugeben.
- Den Reaktionsansatz langsam und unter ständigem Rühren auf  $80^\circ\text{C}$  erhitzen.
  - **Beachten Sie die Farbe der Lösung während der Reaktion!**
- Sobald die im Becherglas befindliche Lösung eine orange-braune Farbe angenommen hat, wird langsam 0,5 ml Natriumcarbonat-Lösung zugegeben.

#### (B) Elektrolytische Herstellung von kolloidalen Silberpartikeln

- Ein Schnappdeckelgläschen wird mit Leitungswasser zur Hälfte gefüllt. Der Schnappdeckel wird an 2 Stellen durchbohrt. 2 Silberdrähte werden durch die Löcher geschoben bis sie jeweils ins Leitungswasser eintauchen.
- Die Silberelektroden werden an 3 in Serie geschaltete 9V-Batterien angeschlossen.
  - **Beachten Sie die Farbe der Lösung während der Reaktion genau!!**
- Die Elektrolyse wird 5 min. durchgeführt.



**Abb. 23:** Versuchsaufbau  
(eigene Quelle)

### **Beobachtungen und Erläuterungen**

Notieren Sie Ihre Beobachtungen und bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

- Zu (A): Bei der Herstellung von Silbernanopartikeln aus einer Silbernitrat-Lösung wird elementares Silber gebildet. Benennen Sie den Reaktionstyp. Begründen Sie und erläutern Sie die 2 Funktionen von Tannin für die Reaktion. Erläutern Sie, weshalb ein Ausfällen elementarer Silberteilchen nicht zu beobachten ist. Zeigen Sie, dass es sich tatsächlich um eine Dispersion mit Nanopartikeln handelt. (**Tippkarte 8**)
- Zu (B): Geben Sie die chemischen Reaktionen an den Silberelektroden an. Erklären Sie die Bildung schwarz-brauner Partikel an der Anode (Pluspol). Zeigen Sie, dass es sich tatsächlich um eine Dispersion mit Nanopartikeln handelt. (**Tippkarte 9**)

### **Text- u. Informationsquellen:**

Natworking-Projekt „Naturwissenschaft und Technik (NwT)“, „Herstellung von Silber-Nanopartikeln“, Robert-Bosch-Stiftung – Regierungspräsidium Karlsruhe – Karlsruher Institut für Technologie (KIT), [http://www.nat.nwt-bw.de/module/nano/V1\\_Versuchsblatt\\_Nanopartikelherstellung.pdf](http://www.nat.nwt-bw.de/module/nano/V1_Versuchsblatt_Nanopartikelherstellung.pdf)  
Landesinstitut für Pädagogik und Medien (LPM) Saarland, „Lehrfilm zur Herstellung von Nanopartikeln“, <http://www.youtube.com/watch?v=dbEcyauFHYI>, Zeitfenster: 2min. 53sec. – 3min. 52sec., 5. Nov. 2009

TIPPKARTE 8: Nanosilber

**Teilreaktion 1:**

einwertige Silber-Ionen werden zu elementarem Silber ( $\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}^0$ ).

**Teilreaktion 2:**

Tannin liefert Elektronen.

Überschüssige Tannin-Ionen lagern sich an die Oberfläche der Nanosilberpartikel an und bilden eine hydrophile, negativ geladene Nanosphäre.

	<b>Sediment- bildung</b>	<b>Tyndall-Effekt</b>	<b>Partikel- durchmesser</b>	<b>Beispiel aus Alltag</b>
Lösung	nein	keine Lichtstreuung	kleiner 1 nm	Mineralwasser, Tee
Kolloidale Lösung - Dispersion	nein	Lichtstreuung	1 - 1000 nm	Milch, Tinte
Suspension	ja	Lichtstreuung	größer 1000 nm	Schlammwasser, Orangensaft mit Fruchtfleisch



TIPPKARTE 9: Nanosilber

**Kathode (= Minuspol):** Bei den Gasbläschen handelt es sich um Wasserstoff. Außerdem werden auch noch Hydroxid-Ionen gebildet.

**Anode (= Pluspol):** elementares Silber wird unter Elektronenabgabe zum Silberion und geht in Lösung. Silberionen bilden mit Hydroxid-Ionen einen braunen, schwer wasserlöslichen Feststoff.

	<b>Sediment- bildung</b>	<b>Tyndall-Effekt</b>	<b>Partikel- durchmesser</b>	<b>Beispiel aus Alltag</b>
Lösung	nein	keine Lichtstreuung	kleiner 1 nm	Mineralwasser, Tee
Kolloidale Lösung - Dispersion	nein	Lichtstreuung	1 - 1000 nm	Milch, Tinte
Suspension	ja	Lichtstreuung	größer 1000 nm	Schlammwasser, Orangensaft mit Fruchtfleisch

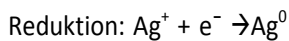
Lösungshinweise zu Versuch 6: Nanosilber

**(A) Herstellung von Silbernanopartikeln**

Bei der Herstellung von Silbernanopartikeln aus einer Silbernitrat-Lösung wird elementares Silber gebildet. Benennen Sie den Reaktionstyp. Begründen Sie und erläutern Sie die 2 Funktionen von Tannin für die Reaktion. Erläutern Sie, weshalb ein Ausfällen elementarer Silberpartikel nicht zu beobachten ist. Zeigen Sie, dass es sich tatsächlich um eine Dispersion mit Nanopartikeln handelt.

Es handelt sich um eine Redoxreaktion.

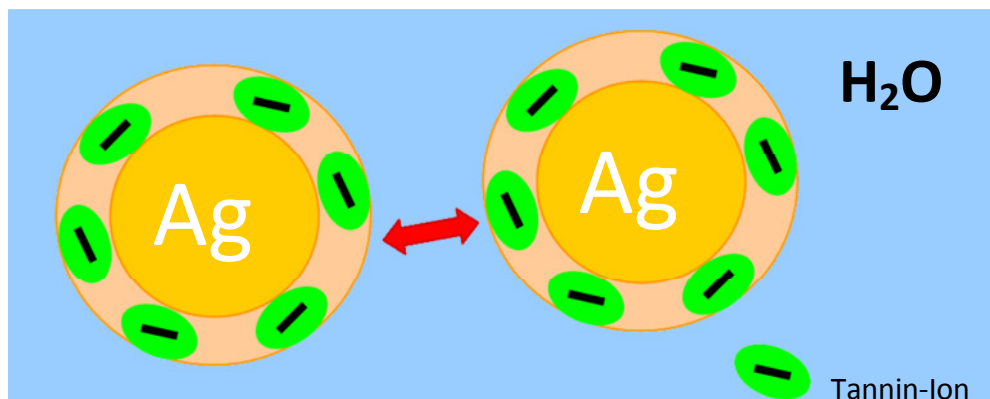
Einwertige Silber-Ionen werden zu elementarem Silber reduziert:



Oxidation: Tannin liefert Elektronen (Tannin = Reduktionsmittel)

Die nicht umgesetzten Tannine dienen der Oberflächenfunktionalisierung und verhindert die Zusammenlagerung und Verklumpung von Silbernanopartikeln. Dadurch entsteht eine stabile Silbernanopartikel-Dispersion. Die negativ geladenen Tannin-Ionen bilden eine Hülle um die Silberpartikel, so dass diese sich gegenseitig abstoßen und nicht verklumpen.

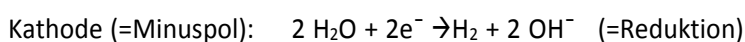
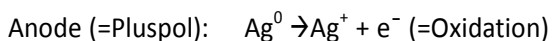
**Abb. 26:** Veranschaulichung der gegenseitigen Abstoßung von oberflächenfunktionalisierten Silber-Nanopartikeln (eigene Quelle)



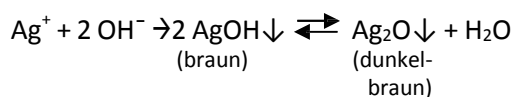
Kolloidale Dispersionen zeigen den Tyndall-Effekt, d.h. sie streuen Laserlicht.

**(B) Elektrolytische Herstellung von kolloidalen Silberpartikeln**

Geben Sie die chemischen Reaktionen an den Silberelektroden an. Erklären Sie die Bildung schwarz-brauner Partikel an der Anode (Pluspol). Zeigen Sie, dass es sich tatsächlich um eine Dispersion mit Nanopartikeln handelt.



Bildung schwerlöslichen Silberhydroxids, das im Gleichgewicht mit Silberoxid steht: 2



Kolloidale Dispersionen zeigen den Tyndall-Effekt, d.h. sie streuen Laserlicht.



**Arbeitsblatt 7: Nano-Hydroxylapatit**

## Nano und Zähne

*Minerale* sind nicht nur Bestandteile der Erdkruste, des Mondes oder von Meteoriten, sondern kommen als so genannte Biominerale auch in Lebewesen vor.

Beim Menschen haben Calciumphosphate die größte Bedeutung. Hydroxylapatit, ein Vertreter der Stoffklasse der Calciumphosphate mit der Summenformel  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ , verleiht Knochen, Zähnen und Sehnen Stabilität, Härte und Funktion. So bestehen z.B. die Knochen des Körperskeletts aus etwa 50%, das Zahnbein aus etwa 70% und der Zahnschmelz aus etwa 97% Hydroxylapatit.

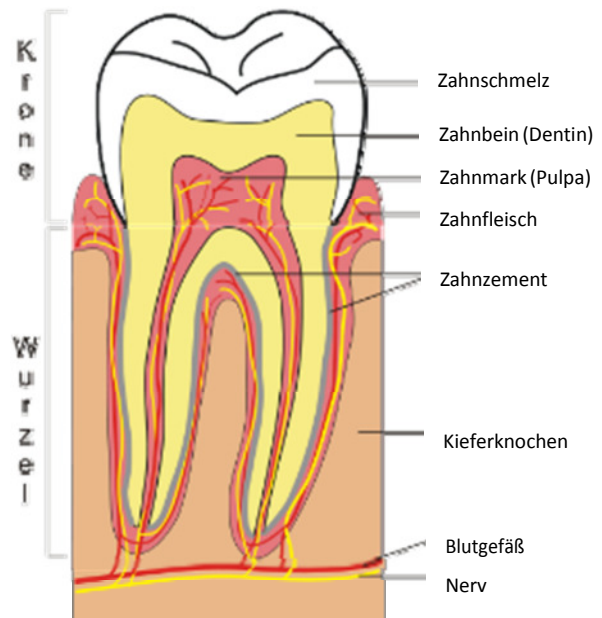
Knochen, das Zahnbein und der Zahnzement bestehen etwa zur Hälfte aus Hydroxylapatit, etwa einem Drittel aus *Kollagen* und aus Wasser. Sie sind aus mikroskopisch kleinen Bauelementen von Kollagenfasern mit eingelagerten Hydroxylapatit-Nanokristallenzusammengesetzt.

Knochen wird kontinuierlich durch spezialisierte Zellen auf- und abgebaut.

Zähne beim Menschen dagegen werden während der Embryonalentwicklung (Milchgebiss) bzw. im Kindes- und Jugendalter vollständig gebildet und sind nach dem Durchbruch durch das Zahnfleisch keinen kontinuierlichen Auf- und Abbauprozessen durch Spezialzellen unterworfen.

Neben der gewünschten Kristallisation von Calciumphosphaten für die Bildung von Knochen und Zähnen kann diese am falschen Ort auch zu schweren bis lebensbedrohlichen Erkrankungen beim Mensch führen. Hierzu zählt beispielsweise die Arteriosklerose, bei der es durch Ablagerungen und Verkalkung an der Innenseite von Blutgefäßen bis zur völligen Blockierung des Blutstroms und damit der Versorgung von Organen mit Nährstoffen und Sauerstoff kommen kann. Weitere unerwünschte Ablagerungen von Calciumphosphaten im Körper sind die Bildung von Blasensteinen oder Zahnsteinbildung.

Es existieren auch Krankheitsbilder, bei denen eine übermäßige Auflösung von Calciumphosphaten ursächlich ist (z.B. Karies, *Osteoporose*). Unter Karies (lat. *caries* „Morschheit“, „Fäulnis“) versteht man das Herauslösen von Calciumphosphat aus Zahnschmelz und Zahnbein. Es beruht auf einer chemischen Schädigung durch organische Säuren, die durch den bakteriellen Abbau von Zuckern entstehen.



**Abb. 27:** Zahnaufbau im Querschnitt

Exkurs:

**Fluorapatit**

Zahnschmelz besteht primär aus Hydroxylapatit (=  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ ). Die Härte des Zahnschmelzes ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass er ganz überwiegend (zu ca. 95 Prozent) aus anorganischem Material besteht. Mit fluoridhaltigen Präparaten (Medikamenten, Zahnpflegemittel) gelingt es, im Hydroxylapatit OH-Gruppen teilweise durch Fluorid-Ionen zu ersetzen und so den Hydroxylapatit partiell in Fluorapatit umzuwandeln. Dieser ist widerstandsfähiger gegenüber Säuren und besitzt daher eine bessere Schutzfunktion gegen Karies.

Auch in der Medizin bei der Behandlung von Knochenbrüchen, beim Ersatz abgenutzter Hüft- oder Kniegelenke durch Prothesen bzw. beim Zahnersatz spielen Biominerale wie Hydroxylapatit eine wichtige Rolle. Calciumphosphate als künstliche Knochenersatzmaterialien verfügen über eine ausgezeichnete Biokompatibilität, d.h., sie werden nach einer Implantation vom Körper gut angenommen und rufen kaum unerwünschte Nebenwirkungen (z.B. Entzündung, Auslösen von Allergien) hervor. Ein durch einen komplizierten Knochenbruch, eine Tumorentfernung oder Entzündung hervorgerufener Knochendefekt muss mit geeignetem Material aufgefüllt werden, um das Einwachsen von neuem Knochengewebe zu ermöglichen. Wenn dies nicht geschieht, kann Bindegewebe in den Defekt einwachsen, sodass die Knochenbildung unterbleibt. Das ideale Ersatzmaterial, der körpereigene Knochen aus der Hüfte, ist gewöhnlich nicht in ausreichender Menge vorhanden. Fremdmaterialien von humanen oder tierischen Spendern sind wegen möglicher Infektionsgefahren kritisch anzusehen.

Heute ist eine Vielzahl von unterschiedlichen Calciumphosphaten zur Behandlung von Knochendefekten auf dem Markt (z.B. Produktbeschreibung von Nanobone® s.u.), die folgende Anforderungen erfüllen sollten:

- Porendurchmesser von einigen 100 µm, damit Knochengewebe einwachsen kann
- eine biologische Abbaubarkeit mit einer ähnlichen Geschwindigkeit wie bei der Neubildung von Knochen (d.h. zwischen einigen Monaten und etwa zwei Jahren)
- eine ausreichende mechanische Stabilität

**Über NanoBone®** (Knochenaufbaumaterial der Firma ARTOSS):

Nano-Bone® besteht zu 76% aus nanokristallinem Calciumphosphat (Hydroxylapatit) und zu 24% aus Siliciumdioxid. Das Material ist in der Struktur dem menschlichen Knochen sehr ähnlich und wird daher vom menschlichen Knochengewebe akzeptiert und ermöglicht das Einwachsen von Knochengewebe.

Aufgrund der nanoskaligen Partikelgröße wird eine hohe Porosität bewirkt, sodass körpereigene Proteine aus dem Blut an die spezielle Oberfläche des Knochenersatzmaterials anlagern. Dadurch wird das Material nicht als Fremdkörper angesehen.

Das Prinzip ähnelt dem natürlichen Heilungsprozess. NanoBone® wird in Form von Granulat in den Knochendefekt eingebracht und während dem Heilungsprozess von eigenen Knochen durchwachsen.

**Glossar:**

*Mineral:* feste und kristallisierte anorganisch-chemische Verbindung

*Kollagen:* Strukturprotein mit hoher Zugfestigkeit; wesentlicher organischer Bestandteil des Bindegewebes (Knochen, Zähne, Knorpel, Sehnen, Bänder) und Haut.

*Osteoporose:* Knochenerkrankung im höheren Lebensalter; der übermäßig rasche Abbau der Knochensubstanz macht den Knochen anfällig für Brüche

**Praktischer Teil:**

Führen Sie Versuch 7 durch (Hinweise und Anleitung s. Anlage). Notieren Sie Ihre Beobachtungen und geben Sie jeweils eine Erklärung.



**Aufgaben:**

- Phosphate sind die Salze der Phosphorsäure. Geben Sie die Summenformel der Phosphorsäure an. Geben Sie alle Protolysestufen der Phosphorsäure an und benennen Sie die jeweiligen Ionen. Stellen Sie die Geometrie des Phosphat-Ions grafisch dar.
- Erläutern Sie, weshalb Zahncremes oder z.B. auch Speisesalz häufig mit Fluorverbindungen versetzt sind.
- Beziehen Sie selbst eine Position zur Verwendung von Hydroxylapatit-Nanopartikeln in Pflegemitteln wie z.B. Zahncreme. Berücksichtigen Sie dabei auch die aktuelle Faktenlage (s. Informationsblätter 6-8).

**Quellennachweis:**

**Text- und Informationsquellen:**

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Apatit>, (Stand: 14.1.2011)
- S.V. Dorozhkin, M. Epple, *Die biologische und medizinische Bedeutung von Calciumphosphaten*, *Angew. Chem.* 2002, 114, 3260-3277
- <http://www.mk-dental.de/pdf/nanobone/NanoBone.pdf>, (Stand: 16.1.11)

**Bildquelle:**

**Abb. 27:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Zahn>, Bildurheber: Uwemuell; gemeinfrei © ✓

**Informationsblatt 6:****Textquelle:** n-tv online (Stand:14.1.11)<http://www.n-tv.de/wissen/Nanomaterial-hilft-bei-Zahnpflege-article981731.html>

Kampf der Karies

**Nanomaterial hilft bei Zahnpflege**

Bei der täglichen Zahnpflege und zur Vorbeugung von Karies spielen Nanomaterialien eine zunehmend große Rolle. Es sind bereits Zahncremes oder Mundspülungen erhältlich, die mit Hilfe von Nanopartikeln die Bildung von kariesfördernden, bakteriellen Biofilmen erschweren oder einen angegriffenen Zahnschmelz remineralisieren, berichten deutsche Zahnmediziner im Journal "Nature Nanotechnology". Karies-Löcher könnten die Nanopartikel indes noch nicht stopfen, alle Entwicklungen in dieser Richtung befänden sich noch im Experimentierstadium. Die Wissenschaftler geben einen Überblick über die aktuellen Entwicklungen in dem Bereich.

[...]

**Noch in der Erforschung: Zahnschmelz-Imitate**

*Nanopartikel* eignen sich Versuchen zufolge auch zur Remineralisierung und Reparatur von winzigen Rissen im Zahnschmelz. Diese Verletzungen gehen der Bildung von Karies-Löchern voraus. In einer klinischen Studie mit mehr als 2700 Kindern zeigte sich etwa, dass durch das regelmäßige Kauen eines Kaugummis mit Nanokomplexen das Wachstum der Miniatur-Löcher gebremst wird oder diese sich sogar zurückbilden. Zahnpflege-Produkte mit diesen Nanokomplexen seien bereits erhältlich. Ebenso gebe es bereits Produkte, die mit Hilfe von Carbonat-Hydroxylapatit-Nanopartikeln den Zahnschmelz reparieren. In Laborexperimenten seien diese Mittel erfolgreich getestet worden, klinische Versuche stünden aber noch aus.

Zum Füllen von echten Karies-Löchern lassen sich Nanopartikeln derzeit hingegen noch nicht verwenden, erklären die Forscher. Es gebe bereits eine Reihe Erfolg versprechender Versuche, in denen Wissenschaftler Zahnschmelz mit Hilfe von Nanopartikeln nachgebildet haben. Solche Zahnschmelz-Imitate könnten einst die Kunststoffe ersetzen, die bisher für Füllungen verwendet werden. Derzeit seien aber vor allem die Stabilität und die mechanischen Eigenschaften der Nanoimitate noch nicht ausgereift. Auch dauere die Bildung der Strukturen bisher noch Stunden oder Tage. Eine klinische Anwendung sei deshalb noch nicht in Sicht. Und selbst wenn es einst soweit sein sollte – ums Zähneputzen wird man vorerst nicht herum kommen, schreiben die Wissenschaftler. Auch Zahnschmelz-Imitate können Karies bekommen.

**Informationsblatt 7:****Zahncreme Biorepair**

**Textquelle:** Stiftung Warentest (19.08.2009) (gekürzt)

<http://www.test.de/themen/gesundheit-kosmetik/schnelltest/Zahncreme-...>

(Stand: 15.1.11)

**Kein Fluorid**

*Glattere Zähne, die länger sauber bleiben - das verspricht die neue Zahncreme Biorepair. Möglich sei dies durch einen neuartigen Wirkstoff, der kleinste Defekte im Zahnschmelz reparieren kann. Das klingt gut. test.de hat sich das Produkt genauer angesehen und gibt einen Überblick.*

**Zahnerosionen nehmen zu**

Gut so: Der Zahnschmelz ist das härteste Gewebe im menschlichen Körper. Muss er doch täglich vielfältigen „Angriffen“ durch Nahrung und Kaubewegung standhalten. Trotzdem können vor allem säurehaltige Nahrungsmittel wie Zitrusfrüchte, Fruchtsäfte und Softdrinks dazu führen, dass der Zahnschmelz abgetragen wird - Erosion heißt das in der Fachsprache. Gerade bei Jugendlichen nimmt die Zahnerosion immer mehr zu. Denn viele greifen verstärkt zu Softdrinks wie Cola. Zu intensives Zähneputzen verstärkt den Effekt, vor allem, wenn eine falsche Putztechnik angewendet wird. [ ] Dann kann selbst der Zahnarzt nur noch in begrenztem Maße helfen. Denn der Zahnschmelz kann nicht nachgebildet werden. Soweit sollte es also niemand kommen lassen.

**Wirkstoff soll natürlichem Schmelz entsprechen**

Ein Grund für die Erosion: Der Zahnschmelz besteht weitgehend aus dem Calcium- phosphat Hydroxylapatit. Diese Substanz ist säurelöslich. Die Zahncreme Biorepair verspricht Abhilfe bei geschädigtem Zahnschmelz. Nach Angaben des Anbieters Dr. Kurt

Wolff enthält die Zahncreme einen Wirkstoffkomplex, der dem natürlichen Zahnschmelz entspricht: Zink-Carbonat-Hydroxylapatit. Beim Zähneputzen sollen mithilfe des Wirkstoffs nanofeine, also sehr kleine, Defekte in der Oberfläche des Zahnschmelzes geschlossen und die Oberfläche dadurch repariert werden. Bei regelmäßigem täglichem Gebrauch sollen sich die Zähne glatter anfühlen, weil Bakterien, die im Mund vorkommen, nicht mehr so gut am Zahn anhaften können. Ergebnis: Zahnbelag würde reduziert. Gleichzeitig sollen die Zähne auch weniger empfindlich auf heiß/kalt und süß/ sauer reagieren.

**Keine aussagekräftigen Studien**

Biorepair ist nicht die erste Zahncreme, die eine erneute Mineralisation des Zahnschmelzes verspricht. Auch andere Produkte wollen den Effekt erreichen: durch Calciumverbindungen, die als Nanopartikel den Zahncremes beigemischt sind. Bislang fehlen aber aussagekräftige klinische Studien, die eine Wirksamkeit zweifelsfrei belegen. [...] Das gilt auch für Biorepair. Anders als der Hersteller auf seiner Internetpräsenz glauben lässt, gibt es für die Zahncreme noch keine aussagekräftige klinische Studie. Auch bei einem ähnlichen Produkt der Marke *Perlweiss* lautete das Urteil der Stiftung Warentest daher: Nicht zu empfehlen.

**Kein Kariesschutz durch Fluoride**

Die Biorepair-Zahncreme enthält keine Fluoride. Hintergrund: Die Calciumverbindung Hydroxylapatit reagiert mit Fluorid zu Calciumfluorid. Dadurch wird das Fluorid inaktiv und verliert seine Wirkung als Kariesschutz. Diese Reaktion findet bereits in der Zahnpastatube statt. Es macht daher keinen Sinn, das Produkt mit Fluorid anzureichern. Das hat jedoch einen entscheidenden Nachteil: Die Biorepair-Zahncreme verzichtet auf wirksamen Kariesschutz durch Fluoride. Diese Wirkung ist in vielen klinischen Studien belegt. Auch die Stiftung Warentest orientiert sich bei Untersuchungen von Zahncremes daran: Zahncremes ohne Fluoride sind im Hinblick auf Kariesprophylaxe nicht geeignet. Das gilt auch für Biorepair.

**Informationsblatt 8:**

**Textquelle:** *Die Zahnarzt Woche*, 05. Januar 2010

<http://www.dzw.de/zahnmedizin/artikel/archive/2010/january/article/nanotechnologie-die-zukunft-hat-auch-in-der-zahnmedizin-schon-begonnen.html> (gekürzt; Stand: 15.1.11)

## Nanotechnologie – die Zukunft hat auch in der Zahnmedizin schon begonnen

*DZW-Dialog mit Prof. Dr. Matthias Epple und Prof. Dr. Dr. h. c. Peter Gängler – Die Nano- Initiative „Nanotechnologie – eine Zukunftstechnologie mit Visionen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) tritt mit dem Aktionsplan 2010 in eine neue Phase, die vor allem auf die raschere Umsetzung nanotechnologischer Forschungsergebnisse zielt. Ein intensiver Dialog in der Öffentlichkeit über die Chancen und Risiken sei notwendig, so das BMBF, um auch die Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt zu ergründen.*

Auch in der Zahnmedizin hat „Nano“ bereits Einzug gehalten, neue Einsatzmöglichkeiten werden in Forschung und Entwicklung untersucht. DZW-Chefkorrespondent Dr. med. dent. Karlheinz Kimmel befragte den Chemiker Prof. Dr. rer. nat. Matthias Epple (Anorganische Chemie, Universität Duisburg-Essen) und den Zahnmediziner Prof. Dr. med. Dr. h. c. Peter Gängler (ZMK-Fakultät der Universität Witten/Herdecke), die in diesem Forschungsbereich seit geraumer Zeit erfolgreich kooperieren, zum Stand von Wissenschaft und Technik. **DZW: Die Meinungsbildung in puncto Nanotechnologie ist in der zahnmedizinischen Fachwelt momentan zwiespältig.**

**Insbesondere werden die Zahnärzte wie auch viele Patienten und Verbraucher durch die kontroversen Aussagen bezüglich des Gefährdungspotenzials der Nanopartikel in der Öffentlichkeit in jüngster Vergangenheit irritiert. Wie ist die Situation einzuschätzen? Gibt es „gute“ und „schlechte“ Nanoprodukte?**

**Prof. Dr. Matthias Epple:** [...]

Zunächst einmal bleiben die Eigenschaften der Stoffe erhalten, auch wenn sie sehr klein sind. In manchen Fällen ändern sich die physikalischen und chemischen Eigenschaften aber auch deutlich mit der Partikelgröße. Darunter fällt zum Beispiel das Absorptionsvermögen für Licht, was die Farbe ausmacht. Weiterhin verfügen kleine Partikel über eine viel größere spezifische Oberfläche, das heißt die Oberfläche pro Masseneinheit. Diese kann durchaus einige 100 Quadratmeter pro Gramm erreichen. Durch diese hohe Oberfläche sind Nanopartikel häufig reaktiver als große Partikel. Sie können zum Beispiel andere Stoffe in höherem Maße an der Oberfläche anlagern oder sich schneller auflösen. Feinverteilt Eisen brennt spontan an der Luft – ganz im Gegensatz zu einem zentimeter-großen Stück Eisen. Die biologische Aktivität kann sich von den makroskopischen Phasen deutlich unterscheiden, da kleine Partikel eher in der Lage sind, von Zellen aufgenommen zu werden oder biologische Membranen zu durchdringen.

**Prof. Peter Gängler:** Die Biomineralisation der Zähne [...] erfolgt nanopartikulär, also in Nanokristallen. Calciumphosphat-Nanopartikel begleiten uns *bereits* über die ganze Wirbeltier-Evolution [...]. Sonst würden wir nicht wachsen können, keine Milchzähne würden ersetzt, kein Bruch würde heilen. Deshalb gehören Calciumphosphat-Nanopartikel zweifellos zu den „Gründungssubstanzen“ der Nanomedizin, eben auch, weil sie sich durch eine fast absolute Biokompatibilität auszeichnen.

**DZW:** Die Anwendung der Nanotechnologie im zahnmedizinischen Bereich geht ja in mehrere Richtungen: Zuerst die schon vor Jahren begonnene Entwicklung der Füllungswerkstoffe mit Nano-Partikeln und dann die nanopartikelhaltigen Produkte für die Mundhygiene beziehungsweise Parodontitisprophylaxe, zum Beispiel mit Calciumphosphat oder Hydroxylapatit. Wie ist da der Stand von Wissenschaft und Technik?

**Epple:** Nanopartikel können gut mit Wirkstoffen beladen werden und in feinverteilter Form in Mundspülungen oder Zahnpasta eingebracht werden. Daher ist es eben vorteilhaft, kleine Partikel zu verwenden, damit sich die Stoffe nicht absetzen oder zu einem rauen Gefühl im Mund führen. Zahnpasta enthält schon lange Nanopartikel, zum Beispiel aus Titandioxid. Den Calciumphosphat- beziehungsweise Hydroxylapatit- Partikeln liegt die Annahme zugrunde, dass geschädigtes Zahnmineral dadurch wieder aufgebaut werden kann. Auch möchte man die kleinen Tubuli im Dentin wieder verschließen. Chemisch ist das sinnvoll, denn das Zahnmineral in Dentin und Zahnschmelz besteht auch aus Hydroxylapatit, das heißt einem Calciumphosphat. Die Partikel müssen klein genug sein, um in die Dentintubuli hineinzupassen.

**DZW:** Nochmals zurück zum Nanohydroxylapatit: Im Internet beantwortet der Hersteller eines neuen Produkts die Frage, ob dieses beim Verschlucken gefährlich sei, mit dem Hinweis, dass auch der Abrieb vom Zahnschmelz in den Magen gelange und dort – rasch in seine Bestandteile zerlegt – unbedenklich sei. Da geht es aber nicht um Nanopartikel.

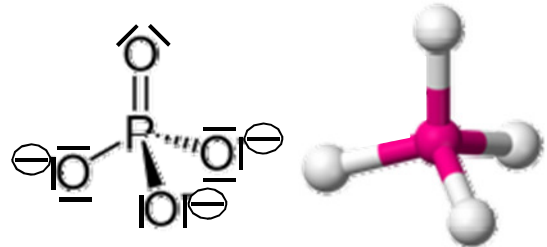
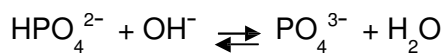
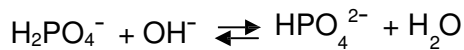
**Epple:** Calciumphosphate sind grundsätzlich säurelöslich. Im Magen herrscht ein pH- Wert von ca. 2 bis 3, da lösen sich Calciumphosphate zu unbedenklichen Calcium- und Phosphat-Ionen auf. Das gilt in besonderem Maße für kleine Teilchen (Abrieb von Zähnen oder solche Calciumphosphat-Nanopartikel), die schneller reagieren als große Partikel. Es ist daher nicht zu befürchten, dass von verschluckten Calciumphosphat-Nanopartikeln oder auch von mikrometer-großen Partikeln eine Gefahr ausgeht. Übrigens enthält Milch auch nanoskopische Partikel aus Calciumphosphat [...].  
[...]

**Lösungshinweise zu Arbeitsblatt 7:**

**Aufgaben:**

a) *Phosphate sind die Salze der Phosphorsäure. Geben Sie die Summenformel der Phosphorsäure an. Geben Sie alle Protolysestufen der Phosphorsäure an und benennen Sie die jeweiligen Ionen. Stellen Sie die Geometrie des Phosphat-Ions grafisch dar.*

Phosphorsäure:  $\text{H}_3\text{PO}_4$



**Abb. 28:** Phosphat-Ion ( $\text{PO}_4^{3-}$ ); tetraedrisch

**Bildquellen:**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Phosphat>, (gemeinfrei)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Tetraeder>, (gemeinfrei)

$\text{H}_2\text{PO}_4^-$  = Dihydrogenphosphat-Ion

$\text{HPO}_4^{2-}$  = Hydrogenphosphat-Ion

$\text{PO}_4^{3-}$  = Phosphat-Ion

b) *Erläutern Sie, weshalb Zahncremes oder z.B. auch Speisesalz häufig mit Fluor-Verbindungen versetzt sind.*

Zahnschmelz besteht primär aus Hydroxylapatit. Die Härte des Zahnschmelzes ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass er ganz überwiegend (zu ca. 95 Prozent) aus anorganischem Material besteht. Mit fluoridhaltigen Präparaten (Medikamenten, Zahnpflegemittel) gelingt es, im Hydroxylapatit OH-Gruppen teilweise durch Fluorid-Ionen zu ersetzen und so den Hydroxylapatit partiell in Fluorapatit umzuwandeln. Dieser ist widerstandsfähiger gegenüber Säuren und besitzt daher eine bessere Schutzfunktion gegen Karies.

c) *Beziehen Sie selbst eine Position zur Verwendung von Hydroxylapatit-Nanopartikeln in Pflegemitteln wie z.B. Zahncreme. Berücksichtigen Sie dabei auch die aktuelle Faktenlage (s. Informationsblätter 6-8).*

z.B.

- zunächst Sammeln von Informationen, in welchen Alltagsprodukten Hydroxylapatit-Nanopartikel überhaupt enthalten sind (z.B. in der Datenbank des *Woodrow Wilson International Centers for Scholars* unter <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/> können Informationen zu Nanoprodukten abgerufen werden; denn: nicht alle Produkte, die per Werbung oder Etikett angeblich Nanotechnik sind, enthalten auch tatsächlich Nanopartikel)
- da klinische Studien über die Wirksamkeit von Hydroxylapatit-Nanopartikel zur Vermeidung von Karies noch fehlen, würde ich diese Zahncremes nicht kaufen, weil es mit fluoridhaltiger Zahnpasta nachweislich effizientere und kostengünstigere Alternativen zum Schutz vor Karies gibt; Verwendung ist jedoch weniger problematisch als z.B. bei Nanosilber, da von Hydroxylapatit-Nanopartikeln keine Gesundheits- oder Umweltgefährdung zu erwarten ist.



## Versuch 7: Nano-Hydroxylapatit

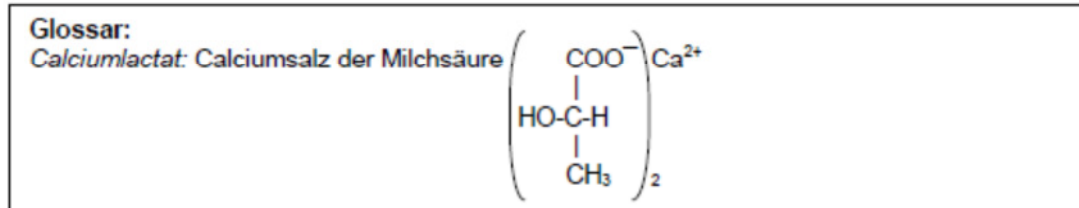
### Chemikalien

18 mM Calciumlactat-Lösung , pH 10 (  $\text{Ca}(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;  $M = 308,22 \text{ g/mol}$ )

10,8 mM Diammoniumhydrogenphosphat- Lösung , pH 10 ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ;  $M = 132,05 \text{ g/mol}$ )

destilliertes Wasser

(zur Einstellung des pH-Werts dienen: Natronlauge ( $\text{NaOH}_{\text{aq}}$ ,  $c = 1 \text{ mol/l}$ ) ; Salzsäure ( $\text{HCl}_{\text{aq}}$ ,  $c = 0,1 \text{ mol/l}$ )



### Material

Schnappdeckelgläschen, Magnetrührer, Magnetfisch, Plastikpasteurpipetten, Laserpointer

### Versuchsdurchführung

#### Herstellung von Hydroxylapatit-Nanopartikeln

- 3 ml der Calciumlactat-Lösung werden in das Schnappdeckelglas gegeben. Zugabe des Magnetfischs zur Lösung. Lösung auf Magnetrührer langsam rühren lassen.
- 3 ml der Diammoniumphosphat-Lösung zur Calciumlactat-Lösung zutropfen.

**Beachten Sie die Lösung während der Reaktion!!**

### Beobachtungen und Erläuterungen

Notieren Sie Ihre Beobachtungen und bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

- Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung der Hydroxylapatit-Nanopartikel.  
Erläutern Sie, weshalb ein Sedimentieren von Hydroxylapatit nicht zu beobachten ist. Zeigen Sie, dass es sich tatsächlich um eine Dispersion mit Nanopartikeln handelt. (**Tippkarte 10**)
- Erläutern Sie die Bedeutung der Lactat-Ionen im Reaktionsansatz.  
(**Tippkarte 10**)

TIPPKARTE 10: NanoHydroxylapatit

**Reaktion 1:**

In einer alkalischen Lösung mit pH 10 befinden sich Hydroxyl-Ionen. Diese können mit Hydrogenphosphat-Ionen reagieren.

**Reaktion 2:**

Als Edukte sind folgende Ionen in der Lösung vorhanden: Calcium-Ionen, Phosphat-Ionen, Hydroxyl-Ionen.

Lactat-Ionen lagern sich an die Oberfläche der Hydroxylapatit-Nanopartikel an und bilden eine hydrophile, negativ geladene Nanosphäre.

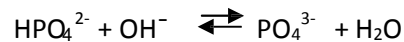
	<b>Sediment- bildung</b>	<b>Tyndall-Effekt</b>	<b>Partikel- durchmesser</b>	<b>Beispiel aus Alltag</b>
Lösung	nein	keine Lichtstreuung	kleiner 1 nm	Mineralwasser, Tee
Kolloidale Lösung - Dispersion	nein	Lichtstreuung	1 - 1000 nm	Milch, Tinte
Suspension	ja	Lichtstreuung	größer 1000 nm	Schlammwasser, Orangensaft mit Fruchtfleisch

**Lösungshinweise zu Versuch 7: Hydroxylapatit-Nanopartikel**

**Beobachtungen und Erläuterungen**

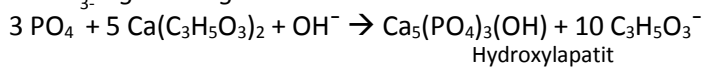
- Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Bildung der Hydroxylapatit- Nanopartikel. Erläutern Sie, weshalb ein Sedimentieren von Hydroxylapatit nicht zu beobachten ist. Zeigen Sie, dass es sich tatsächlich um eine Dispersion mit Nanopartikeln handelt.

In alkalischer Lösung (pH 10) liegen Hydrogenphosphat-Ionen mit Phosphat-Ionen in einem Gleichgewicht.



In alkalischer Lösung fallen Hydroxylapatit-Nanopartikel  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$  aus.

Reaktionsgleichung:



Die gebildeten Nanopartikel sind so klein, dass sie infolge der Brownschen Molekularbewegung bei Raumtemperatur nicht sedimentieren können.

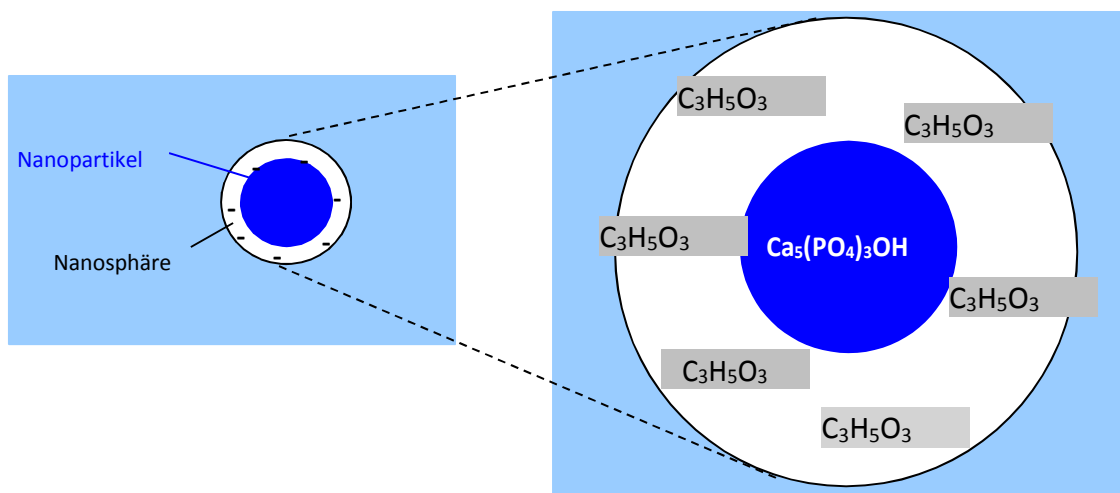
Eine kolloidale Lösung / Dispersion zeigt den Tyndall-Effekt.

- Erläutern Sie die Bedeutung der Lactat-Ionen im Reaktionsansatz.

Oberflächenfunktionalisierung

Die Trägerflüssigkeit, in der sich Hydroxylapatit befindetet, ist Wasser. Damit die Nanopartikel darin kolloidal dispergieren, muss deren Oberfläche polar sein. Auf der Partikeloberfläche lagern sich die negativ geladenen Lactat-Moleküle an. Die Oberfläche aller Partikel ist somit negativ geladen. Die um das Partikel angeordneten Ionen bilden eine Nanosphäre. Die sich abstoßenden Partikel können nicht verklumpen, wodurch eine stabile Dispersion in Wasser entsteht.

**Abb. 29:** Schemadarstellung zur Oberflächenfunktionalisierung (eigene Quelle)



**Arbeitsblatt 8: Nano-Kohlenstoff**

## Nano als Ball, schicht oder Röhre

### Kohlenstoff in Nanoform eröffnet bisher ungeahnte Einsatzmöglichkeiten

**Kohlenstoff** ist ein chemisches Element (Elementsymbol C (von lat. *carbo* „Holzkohle“)). Im Periodensystem steht es in der vierten Hauptgruppe (neu: 14. Gruppe) sowie der zweiten Periode. Kohlenstoff ist ein Nichtmetall.

Er kommt in der Natur sowohl in reiner Form als auch chemisch gebunden vor. Aufgrund seiner besonderen Elektronenkonfiguration (halbgefüllte L-Schale) besitzt es die Fähigkeit zur Bildung von komplexen Molekülen und weist von allen chemischen Elementen die größte Vielfalt an chemischen Verbindungen auf. Kohlenstoffverbindungen bilden die molekulare Grundlage allen irdischen Lebens.

Kohlenstoff hat die höchste Temperaturbeständigkeit aller bekannten Materialien.

Elementarer Kohlenstoff existiert in drei Erscheinungsformen (Modifikationen): Diamant, Graphit und Fulleren.

(A) *Diamant* (von griech. *adámas* für „unbezwingbar“): in Reinform ein transparenter, farbloser Feststoff (oder durch Verunreinigungen oder Kristallgitterdefekte Grün, Gelb, Braun und seltener auch Orange, Blau, Rosa, Rot oder Grau bis Schwarz gefärbt). Diamant ist das härteste bekannte Mineral. Die Härte des Diamanten ist in verschiedenen Kristallrichtungen unterschiedlich (*Anisotropie*). Dadurch ist es möglich, Diamant mit Diamant zu schleifen. Diamant hat eine hohe Lichtbrechung. Er verfügt über die höchste Wärmeleitfähigkeit aller bekannten Substanzen, weist aber keinerlei elektrische Leitfähigkeit auf und ist somit ein perfekter Isolator.



**Abb. 30:** ungeschliffener Diamant

(B) *Graphit* (von griech. *graphein* für „schreiben“): in Reinform ein undurchsichtiger, grauer bis schwarzer Feststoff, der Metallglanz aufweist. Graphit ist sehr weich. Graphit hinterlässt auf Papier oder anderen rauen Oberflächen durch Abreibung der einzelnen Blättchen leicht eine graue Ablagerung, die im Bleistift seine Anwendung findet. Aufgrund der sehr geringen Härte wird Graphit auch als Schmiermittel verwendet. Graphit zeigt elektrische Leitfähigkeit.



**Abb. 31:** sehr reiner Graphit

(C) *Fulleren* (Name leitet sich vom Architekten Buckminster Fuller ab, der Kuppelbauten konstruierte, deren Struktur aus Fünf- und Sechsecken den Fullerenen ähnelt): schwarze Kristalle mit Metallglanz. Jedes Molekül besteht aus einer ganz definierten Anzahl an Kohlenstoffatomen (z.B. Buckminster-Fulleren od. Fußball-Fulleren besteht aus 60 C-Atomen) und umschließt einen Hohlraum. Fullerene sind sehr weich und leicht spaltbar. Fullerene sind Halbleiter. Fullerene kommen vermutlich in allen Rußen vor, so z.B. auch im Ruß über Kerzenflammen.

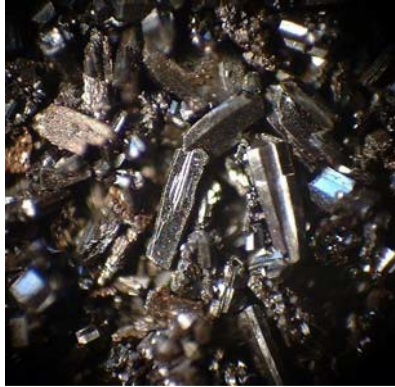


Abb. 32a: Kristalle des C<sub>60</sub>-Fullerens

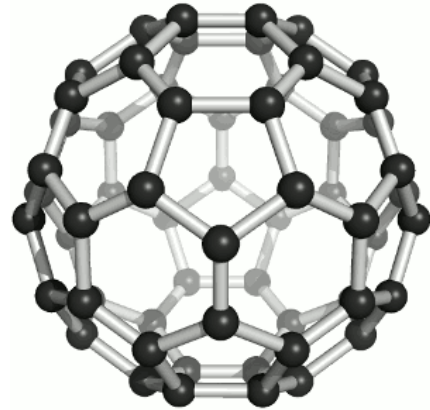


Abb. 32b: Molekülmodell des C<sub>60</sub>-Fullerens

Tabelle 1: Eigenschaften der Kohlenstoffmodifikationen

	Graphit	Diamant	Fulleren (C <sub>60</sub> )
Dichte (g/cm <sup>3</sup> bei 25°C)	2,26	3,51	1,65
Ritzhärte nach Mohs	1	10	nicht bestimmbar, sehr weich
Löslichkeit in Wasser	unlöslich	unlöslich	unlöslich
Löslichkeit in unpolaren Lösungsmitteln	unlöslich	unlöslich	löslich

**Graphen** (Betonung liegt auf der 2. Silbe: Graphén) ist eine einlagige Schicht von Kohlenstoffatomen, die ein zweidimensionales, bienenwabenhöförmiges Muster aus Sechsecken ausbilden. Jedes Kohlenstoff-Atom hat 4 Außenelektronen: je 3 davon bilden Atombindungen mit benachbarten C-Atomen aus, die jeweils 4. Außenelektronen sind frei über die gesamte Wabenfläche beweglich (=delokalisiert).

Es wurde allerdings lange für unmöglich gehalten, solche strikt zweidimensionalen Schichten aus nur einer Atomlage isolieren zu können. Umso erstaunlicher war, dass *Konstantin Novoselov*, *Andre Geim* und ihre Mitarbeiter 2004 die Präparation von freien, einschichtigen Graphenkristallen bekannt gaben.

2010 wurden *Geim* und *Novoselov* für ihre Untersuchungen mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

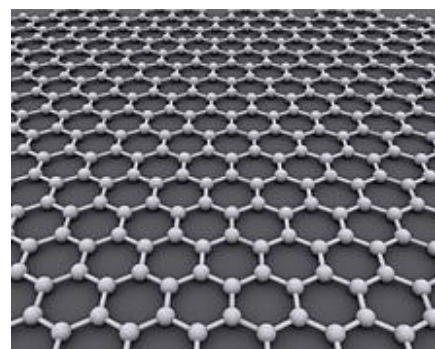


Abb. 33: Modell von Graphen

**Auszug aus der Rede von Professor Per Delsing zur Verleihung des Nobelpreises für Physik am 10. Dez. 2010:**

Graphene also has other exceptional properties. For example, it is 100 times stronger than steel. If we imagine making a *hammock* out of graphene that is one square metre in size, even though it is only one atom thin it will be able to hold a newborn infant or a cat without breaking. Such a *hammock* would weigh about one milligram, about the same as one of the cat's *whiskers*. Graphene is also a good *conductor* of electricity, and it conducts heat 10 times better than silver. In addition graphene is transparent, flexible and very stretchable.

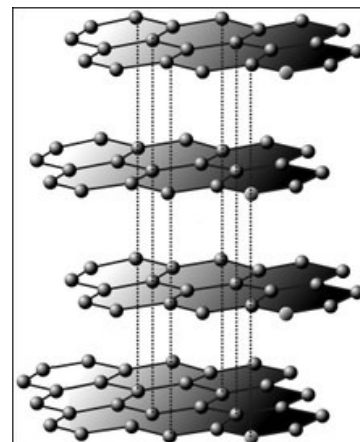
(**Worthilfen:** *hammock* = Hängematte; *whisker* = Schnurrhaar; *conductor* = Leiter)

**„Wundermaterial“ Graphen: die außergewöhnlichen Eigenschaften von Graphen** Graphen ist einerseits das dünnste bekannte Material, andererseits eines der stabilsten Materialien überhaupt: Seine Zugfestigkeit ist die höchste, die je ermittelt wurde, und rund 125-mal höher als bei Stahl. Es ist härter als Diamant.

Es ist bislang kein anderes Material bekannt, das bei Raumtemperatur so leitfähig ist. Es leitet sowohl elektrischen Strom als auch Wärme extrem gut, woraus sich Anwendungsmöglichkeiten in der IT-Branche und für Unterhaltungselektronik ergeben (s. z.B. „*Flexible Touchscreens – Graphen-Elektronik wird greifbar*“, Spektrumdirekt, [www.wissenschaft-online.de/artikel/1037071](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/1037071), vom 25.6.2010). Es hält 1-Million-mal höhere Ströme aus als Kupfer und es leitet Wärme besser als Diamanten (Diamant ist der beste natürlich vorkommende Wärmeleiter). Dabei lässt sich Graphen weder den Metallen noch den Halbleitern zuordnen. Ursache hierfür ist die Geschwindigkeit und das Verhalten der freien, delokalisierten Elektronen im Graphen: sie erreichen 0,3% der Lichtgeschwindigkeit und wechselwirken mit dem elektrostatischen Feld der Kohlenstoffatome vergleichbar den fast masselosen Neutrinos. Somit lassen sich diese Graphen-Elektronen nicht mehr wie die Leitungselektronen in Metallen mit der normalen Quantenmechanik beschreiben, sondern man ist hierfür auf Einsteins Relativitätstheorie angewiesen (weiterführende Informationen hierzu können Sie dem Artikel „*Wunderstoff aus dem Bleistift*“ in **Spektrum der Wissenschaft**, August 2008, entnehmen).

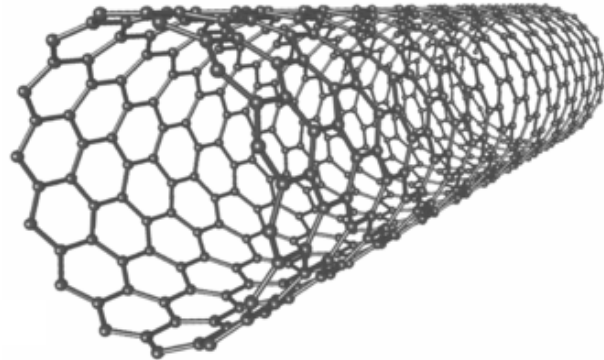
Durch das Anlegen einer Spannung verändern Graphenschichten ihre Lichtdurchlässigkeit. Mittels dieser Eigenschaft ließen sich zum Beispiel Fensterscheiben herstellen, die sich – je nach Sonneneinstrahlung – eigenständig abdunkeln. Eine weitere Eigenschaft von Graphen ist seine Undurchlässigkeit für Gase.

Gedanklich lässt sich durch Stapeln einlagiger Graphenschichten die dreidimensionale Struktur des Graphits erzeugen, mit dem Graphen also strukturell eng verwandt ist. Ein Millimeter Graphit enthält drei Millionen Schichten Graphen. Stellt man sich die einlagigen Schichten dagegen aufgerollt vor, so erhält man gestreckte Kohlenstoff-Nanoröhren. Ebenfalls gedanklich kann man einige der Sechseringe durch Fünferinge ersetzen, wodurch sich die ebene Fläche zu einer Kugelfläche wölbt und sich bei bestimmten Zahlenverhältnissen Fullerene ergeben.



**Abb. 34:** Beziehung zwischen Graphen und Graphit

**Kohlenstoff-Nanoröhren** (engl. carbon nanotubes = **CNT**) haben meist Durchmesser im Bereich von 1 bis 50 nm. Längen von mehreren Millimetern für einzelne Röhren und bis zu 20 cm für Röhrenbündel wurden bereits erreicht. Es gibt ein- und mehrwandige, offene oder geschlossene Röhren (mit einem Deckel, der einen Ausschnitt aus einer Fullerenstruktur hat) und leere bzw. gefüllte Röhren (beispielsweise mit Edelgasen).



- **Abb. 35:** Struktur einer einwandigen Kohlenstoff- Nanoröhre

Folgende Eigenschaften der CNTs machen sie für vielfältige technische Anwendungen äußerst interessant:

- je nach Struktur ist die elektrische Leitfähigkeit innerhalb der Röhre
- metallisch oder halbleitend.
- einwandige CNTs haben eine etwa 15-fach höhere Zugfestigkeit als Stahl und sind etwa 5-6mal leichter
- CNTs zeigen eine etwa 1000-fach höhere Strombelastbarkeit als Kupfer
- CNTs leiten bei Raumtemperatur Wärme 2,5-mal so gut wie Diamant

Mögliche Anwendungen von Kohlenstoff-Nanoröhren:

- Transistoren
- Datenspeicher
- flache und selbstleuchtende Bildschirme und Displays
- für leistungsfähigere Rastertunnelmikroskope
- zur Verbesserung von Kunststoffen (z.B. zur Erhöhung der Zugfestigkeit (s. Tennisschläger von Völkl); Herstellung elektrisch leitender Kunststoffe; stich-, feuerfeste und chemikalienresistente Fasern zur Herstellung von Schutzbekleidung)
- Beschichtung zum Verschleißschutz für mechanisch hoch beanspruchte Motorteile
- als Beimischung in Lithium-Akkumulatoren
- in der Katalysator-Technologie
- Elektroden von Brennstoffzellen
- als Speicher z.B. von Wasserstoffgas
- Herstellen von extrem schwarzen Oberflächen (z.B. für Sonnenlichtkollektoren)
- elektronische Schalter

Nanotechnologie mit Kohlenstoff-Nanoröhren ist keine Erfindung des 21. Jahrhunderts, sondern (wenn auch nicht bewusst oder zielgerichtet) seit dem Altertum für die Herstellung besonders harter und widerstandsfähiger Waffen in Gebrauch: 2006 wurde durch elektronenmikroskopische Untersuchungen an der Technischen Universität Dresden in einem Damaszener-Schwert aus dem 17. Jahrhundert Kohlenstoff-Nanoröhren



**Abb. 36:** Ein Messer aus dem 15. Jhdt. mit Damaststruktur

von bis zu 50 nm Länge und 10 bis 20 nm Durchmesser gefunden, die auf ein noch unbekanntes metallurgisches Verfahren hinweisen.

**Gesundheitliche Auswirkungen**

Bisher noch nicht ausreichend erforscht sind gesundheitliche Effekte, die im Zusammenhang mit Kohlenstoff-Nanoröhren evtl. auftreten könnten. Eine Argumentation weist auf die längliche räumliche Struktur hin, die der von Asbest ähnelt (s. z.B. „Winzige Gefahr Atemluft – Kohlenstoff-Nanoröhren unterdrücken Immunsystem von Mäusen“, Spektrumdirekt, [www.wissenschaft-online.de/artikel/997965](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/997965), vom 19.6.2009). Pathologische Veränderungen, wie etwa die Ausbildung von Wucherungen in der Lunge, scheinen von CNTs ausgelöst zu werden, was ihnen ein durchaus schädliches Potenzial bescheinigt. Es existieren aber auch Studien mit entgegengesetzten Ergebnissen. Hier zeigen aufgereinigte Präparationen von CNTs keine akuten toxischen Effekte.

Trotz der anhaltenden Kontroverse, die in begrenztem Umfang auch die Öffentlichkeit zu erreichen beginnt, lief Anfang 2004 die großindustrielle Produktion von CNTs an.

**Glossar:**

**Anisotropie:** bezeichnet die Richtungsabhängigkeit einer Eigenschaft oder eines Vorgangs (d.h. beispielsweise, dass ein Stoff nur entlang einer Achse elektrisch leitend ist, während senkrecht zu dieser Achse keinerlei elektrische Leitfähigkeit beobachtet werden kann).

**Aufgaben:**

- Erläutern Sie anhand der molekularen Struktur die physikalischen Eigenschaften Dichte, Härte und elektrische Leitfähigkeit der Kohlenstoffmodifikationen Diamant und Graphit. Nutzen Sie hierzu die beigefügten Informationsblätter 9 und 10 sowie Strukturmodelle von Diamant und Graphit.
- Vergleichen Sie die molekularen Strukturen von Graphen und Benzol. Nutzen Sie hierzu das beigefügte Informationsblatt 11 und ggf. Strukturmodelle von Benzol.
- Schlagen Sie aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse zur molekularen Struktur eine Methoden zur Gewinnung von Graphen aus Graphit vor.
- Beziehen Sie selbst eine Position zur Verwendung von Kohlenstoff-Nanoröhren in Sportgeräten wie Tennisschlägern. Berücksichtigen Sie dabei auch die aktuelle Faktenlage.

**Praktischer Teil:**

Führen Sie nach Beantwortung der Aufgaben Versuch 8 durch (Hinweise und Anleitung s. Anlage). Notieren Sie Ihre Beobachtungen.



**Quellennachweis:**

**Text- und Informationsquellen:**

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoff>, (Stand: 20.1.2011)
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Graphit>, (Stand: 20.1.2011)
- Chemie im Kontext (Sek. II), *Anorganische Molekülsubstanzen*, Cornelsen-Verlag Berlin, 2006
- Simone Humml, *Das dünnste und stabilste Material der Welt*, Rhein-Neckar-Zeitung, 6. Okt. 2010
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Graphen>, (Stand: 22.1.2011)
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffnanoröhre>, (Stand: 23.1.2011)
- "Wie Nano das Auto verändert", Spektrum der Wissenschaft, Feb. 2009

**Bildquellen:**

**Abb. 30:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Diamant>, Bildurheber: Rob Lavinsky / iRocks.com, (CC BY-SA 3.0)

**Abb. 31:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Graphit>, Bildurheber: Ra'ike, (CC BY-SA 3.0)

**Abb. 32a:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoff>, Foto: Jochen Gschnaller, (CC BY-SA 3.0)

**Abb. 32b:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Fullerene>, Grafik: Sponk, (CC BY-SA 3.0)

**Abb. 33:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Graphen>, Bildurheber: AlexanderAIUS, (CC BY-SA 3.0) **Abb. 34:**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Graphen>, Bildurheber: Mattman723, (CC BY-SA 2.5) **Abb. 35:**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoff>, Bildurheber: Michael Ströck, (CC BY-SA 3.0) **Abb. 36:**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Damaststahl>, Bildurheber: Gwes, (CC BY-SA 2.0)

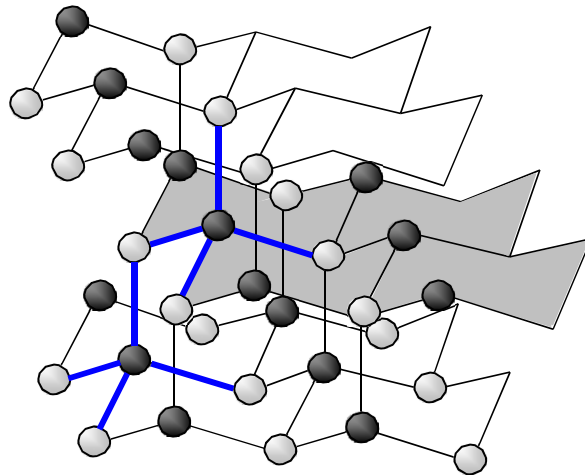
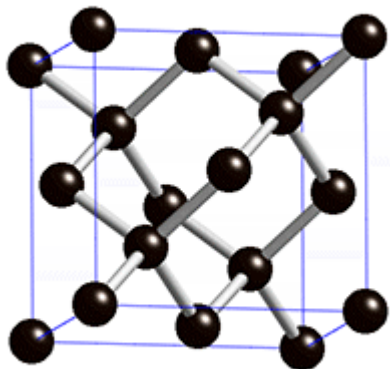
Informationsblatt 9:

**Kristallstruktur des Diamants:**

Im kristallinen Diamant bildet jedes Kohlenstoffatom 4 Atombindungen aus. Die 4 Atombindungen sind mit größtmöglichem Abstand zueinander symmetrisch im Raum orientiert, d.h. im Winkel von  $109,5^\circ$  zueinander angeordnet (=Tetraederwinkel) und mit einer Länge von  $0,15445\text{ nm}$  alle gleich lang. Durch die Ausbildung gleichlanger Atombindungen können die Sechsringe aus Kohlenstoffatomen nicht mehr plan in einer Ebene liegen. Sie nehmen eine Sesselform an. Es kommt auch zur engeren Packung der Ebenen; der Abstand zwischen den Ebenen beträgt  $0,205\text{ nm}$  (bei Graphit =  $0,335\text{ nm}$ ).

Dies führt zu sehr großer Bindungsenergie zwischen den Kohlenstoffatomen, was sich in der enormen Festigkeit und Härte von Diamanten zeigt.

Freie Elektronen wie beim Graphit kommen nicht vor, weshalb Diamanten keine elektrische Leitfähigkeit besitzen.



**Abb. 37:** Kristallstruktur des Diamanten

**Bildquellen:** <http://de.wikipedia.org/wiki/Diamantstruktur>,  
gemeinfrei

eigene Quelle

Informationsblatt 10:

**Kristallstruktur des Graphits:**

Im kristallinen Graphit liegen parallel verlaufende ebene Schichten, die „Basalebene“ oder „Graphen-Schichten“, vor. Eine Schicht besteht aus Kohlenstoffatomen, die über Atombindungen zu Sechsecken verknüpft sind. Die Sechsecke sind zu einem „Wabennetz“ verbunden (s. Abb. 15 a). Die einzelnen Ebenen sind versetzt angeordnet (s. Abb. 15 b). 3 der 4 Außenelektronen eines Kohlenstoffatoms bilden 3 Atombindungen aus, die symmetrisch in einer Ebene liegen und den gleichen Winkel von  $120^\circ$  zueinander aufweisen. Das 4. Außenelektron ist entlang einer Basalebene frei beweglich (delokalisiertes  $\pi$ -Elektron).

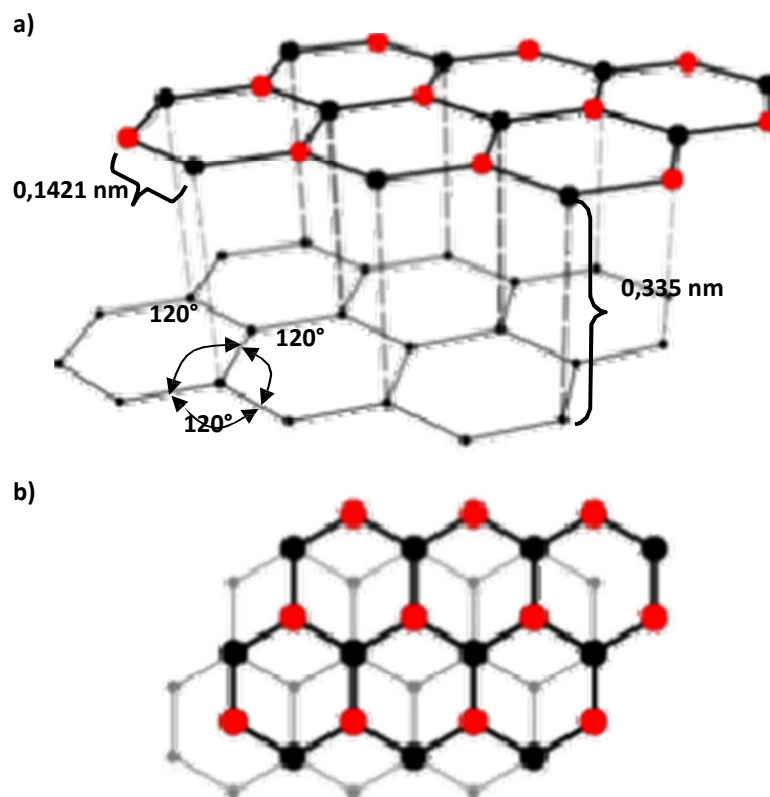
Der Abstand der Kohlenstoffatome entlang einer Atombindung beträgt  $0,1421 \text{ nm}$ , während der Abstand zwischen den Schichten  $0,335 \text{ nm}$  misst. Hieraus resultiert, dass die Bindungsenergie zwischen den Kohlenstoffatomen innerhalb einer Ebene etwa 60-fach größer ist als zwischen den jeweiligen Schichten.

Diese extreme Richtungsabhängigkeit der Bindungskräfte führt zur deutlichen Anisotropie der mechanischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften des Graphits:

- leichte Spaltbarkeit des reinen Graphits entlang der Basalebene
- thermische und elektrische Isolation senkrecht zu den Basalebene
- thermische und elektrische Leitfähigkeit fast wie bei Metallen entlang der Ebenen. Die

Leitfähigkeit innerhalb einer Ebene wird durch die Delokalisation der  $\pi$ -Elektronen ermöglicht.

**Abb. 38:** Kristallstruktur von Graphit:



Bildquelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Graphit>

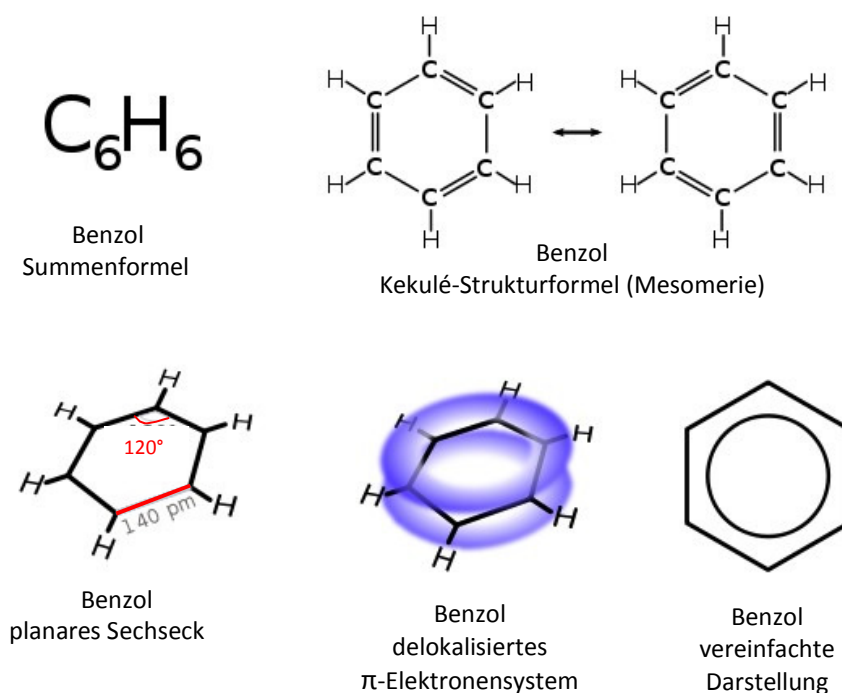
Bildurheber: FelixKling  
(CC BY-SA 3.0)

Informationsblatt 11:

**Benzol** (formal Cyclohexa-1,3,5-trien) ist eine farblose Flüssigkeit mit charakteristischem Geruch. Benzol ist das einfachste und zugleich klassische Beispiel für aromatische Kohlenwasserstoffe. Die Summenformel lautet  $C_6H_6$ .

Jedes der 6 Kohlenstoffatome verfügt über vier Außenelektronen, von denen zwei das Atom mit den benachbarten C-Atomen verbinden. Ein Elektron bindet das zugehörige Wasserstoffatom. Die verbleibenden sechs  $\pi$ -Elektronen ergeben formal drei  $\pi$ -Bindungen, wie sie in der Strukturformel mit drei Doppelbindungen ausgedrückt wurden. In dem heute gültigen Modell bilden die sechs  $\pi$ -Elektronen eine delokalisierte Ladungswolke (delokalisiertes  $6\pi$ -Elektronensystem) über und unter der Ebene des Kohlenstoffrings. Kekulé drückte diesen Umstand der Mesomerie durch zwei Strukturformeln aus, die jeweils nur die beiden Extrempunkte der Ladungswolke symbolisieren. Aufgrund der Mesomerie ist der Kohlenstoffring stabiler als das hypothetische Cyclohexatrien mit lokalisierten Doppelbindungen an festgelegten Positionen. In der vereinfachten Schreibweise wird der Kohlenstoffring heute als Sechseck und die Elektronenwolke als Kreis dargestellt. Benzol ist ein planares Molekül von hoher Symmetrie.

Abb. 39: Molekülgeometrie von Benzol



Bildquelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Benzol>, Bildurheber: moebius1, (CC BY-SA 3.0)

**Lösungshinweise zu Arbeitsblatt 8:**

**Aufgaben:**

a) *Erläutern Sie anhand der molekularen Struktur die physikalischen Eigenschaften Dichte, Härte und elektrische Leitfähigkeit der Kohlenstoffmodifikationen Diamant und Graphit. Nutzen Sie hierzu als Informationsquellen beigefügte Informationsblätter 9-10 und ggf. Strukturmodelle von Diamant und Graphit.*

*Graphit:*

- parallel verlaufende, planare „Basalebenen“ mit großem Abstand voneinander entfernt -7 geringere Dichte
- Basalebenen nicht durch Atombindungen verknüpft; zwischen den Schichten herrschen relativ schwache Van-der-Waals-Kräfte -7geringe Härte und leichte Spaltbarkeit entlang der Basalebenen
- delokalisierte  $\pi$ -Elektronen frei beweglich parallel zu den Basalebenen -7thermische und elektrische Leitfähigkeit fast wie bei Metallen
- delokalisierte  $\pi$ -Elektronen nicht frei beweglich senkrecht zu den Basalebenen -7
  - o thermische und elektrische Isolation senkrecht zu den Basalebenen
- extreme Richtungsabhängigkeit der mechanischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften (Anisotropie)

*Diamant:*

- gewellte Sesselebenen mit geringem Abstand voneinander entfernt -7höhere Dichte
- Sesselebenen durch Atombindungen verknüpft -7starke Bindungskräfte -7extreme Härte
- keine frei beweglichen Elektronen vorhanden -7keine elektrische Leitfähigkeit

b) *Vergleichen Sie die molekularen Strukturen von Graphen und Benzol. Nutzen Sie hierzu als Informationsquellen beigefügtes Informationsblatt 11 und ggf. Strukturmodelle von Benzol.*

Im Benzolmolekül sind 6 Kohlenstoff-Atome, die sich alle in einer Ebene befinden, über Atombindungen miteinander verbunden. Sie bilden ein regelmäßiges Sechseck. Alle Atombindungen zwischen den C-Atomen sind gleich lang (0,140 nm). Die Bindungswinkel betragen 120°. Je Kohlenstoff-Atom werden 3 der 4 Außenelektronen für die Ausbildung von Atombindungen benötigt, die jeweils 4. Außenelektronen sind frei beweglich und über das Ringmolekül verteilt (=delokalisiert).

Graphen zeigt nahezu in allen Parametern identische Werte im Molekülbau, so dass Graphen als zweidimensionale Vernetzung von Benzolringen oder als polycyclischer Aromat aufgefasst werden kann. Graphen erfüllt alle Kennzeichen eines aromatischen Moleküls.

c) *Schlagen Sie aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse zur molekularen Struktur eine Methoden zur Gewinnung von Graphen aus Graphit vor.*

Graphit besteht aus vielen übereinander gestapelten Graphenschichten. Diese Schichten werden nur durch relativ schwache Van-der-Waals-Kräfte zusammengehalten, so dass sie leicht gegeneinander verschoben und voneinander getrennt werden können (s. Bleistift). So sollten einzelne Graphenschichten eventuell durch Reiben, Zermahlen oder Spalten der geschichteten Struktur möglich sein. Eine Trennung in Schichten aus einer Atomlage ist aber sicher sehr schwierig, weil ich mir keine so feinen Pinzetten oder Hebel vorstellen kann.

d) *Beziehen Sie selbst eine Position zur Verwendung von Kohlenstoff-Nanoröhren in Sportgeräten wie Tennisschlägern. Berücksichtigen Sie dabei auch die aktuelle Faktenlage.*

z.B.

- zunächst Sammeln von Informationen, in welcher Form Kohlenstoff-Nanoröhren im Tennisschläger verarbeitet sind und ob und in welchem Ausmaß eine Freisetzung der Nanoröhren in die Atemluft überhaupt möglich ist
- da Studien über Auswirkungen von Kohlenstoff-Nanoröhren auf die menschliche Gesundheit widersprüchlich sind, würde ich den Gebrauch vermeiden; ein Tennisschläger ohne Kohlenstoff-Nanoröhren erfüllt auch seinen Zweck.

### Versuch 8: Nano-Kohlenstoff

#### Chemikalien

Flockengraphit (extrem große Flocken, so genannte Graphenium-Flocken, 2-5 mm)

(Bezugsquelle: z.B. NGS Naturgraphit GmbH in Leinburg

[www.graphit.de/index.php?id=82&L=1](http://www.graphit.de/index.php?id=82&L=1))

1% Wasserstoffperoxid Salzsäure

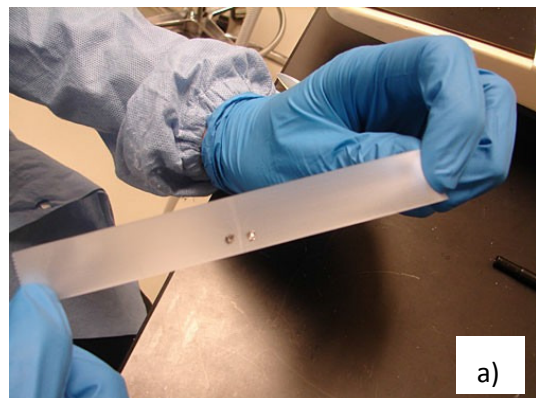
( $\text{HCl}_{\text{aq}}$ ;  $c = 0,1 \text{ mol/l}$ )

#### Material

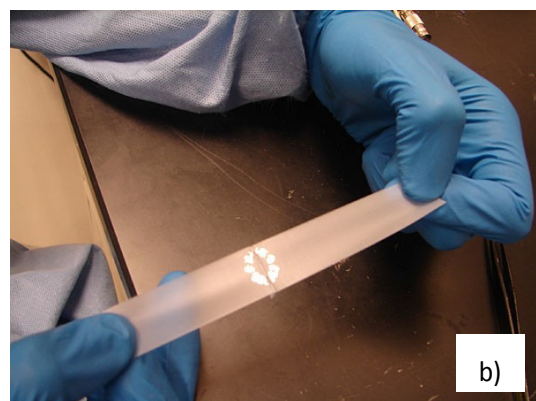
Latexhandschuhe, transparentes Klebeband, Pinzette, Silizium-Wafer, Lichtmikroskop (Objektiv mit 50- bis 100-facher Vergrößerung)

#### Versuchsdurchführung

1. Arbeiten Sie möglichst unter peinlich sauberen Bedingungen. Jedes Staubteilchen oder Haar macht Ihre Bemühungen zunichte. Hierzu am besten einen sauberen Laborkittel und Latexhandschuhe tragen.
2. Ein Silizium-Wafer mit oxidierte Oberfläche dient als Unterlage zum Betrachten des Graphens im Mikroskop. Um die Oberfläche zu glätten und gründlich zu reinigen, behandeln Sie diese mit einer Mischung aus Salzsäure und Wasserstoffperoxid.
3. Bringen Sie mit einer Pinzette eine Graphitflocke auf ein 15 Zentimeter langes Klebeband.
4. Falten Sie das Band unmittelbar neben der Graphitflocke in einem Winkel von etwa 45 Grad, so dass sie zwischen den klebenden Seiten eingeklemmt ist. Drücken Sie das Band rund um die Flocke behutsam zusammen und öffnen Sie es dann so langsam wieder, dass Sie sehen können, wie sich der Graphit glatt in zwei Teile spaltet. Idealerweise erscheinen die beiden Flockenteile glänzender, weil die Spaltung eine Graphenschicht frei gelegt hat.

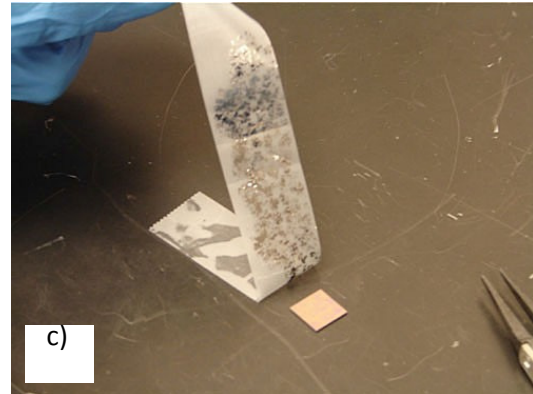


5. Falten Sie das Klebeband neben einem der Spaltprodukte und wiederholen Sie Schritt 4. Versuchen Sie, dass die geteilten Graphit-flocken möglichst eng beieinander liegen, ohne sich zu überlappen.



6. Wiederholen Sie Schritt 5 etwa zehnmal. Die Arbeit wird dabei immer kniffliger. Die letzte Faltung ist erreicht, wenn der Graphit seinen Glanz verliert.

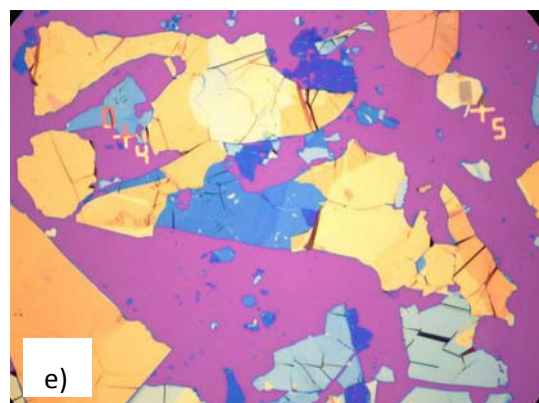
7. Legen Sie Klebeband mit den daran hängenden Spaltprodukten behutsam auf das Silizium, die klebende Seite nach unten. Pressen Sie mit der Pinzette sanft noch vorhandene Luft zwischen dem Klebeband und Wafer heraus. Hier beginnt die langwierige Prozedur: Streichen Sie zehn Minuten lang fest, aber vorsichtig über die Probe.



8. Lösen Sie das Band langsam ab, während Sie den Wafer mit der Pinzette auf die Unterlage drücken. Dieser Schritt sollte 30 bis 60 Sekunden dauern, damit das Graphen auf dem Wafer haften bleibt und Sie es nicht mit dem Band wieder herunter reißen.

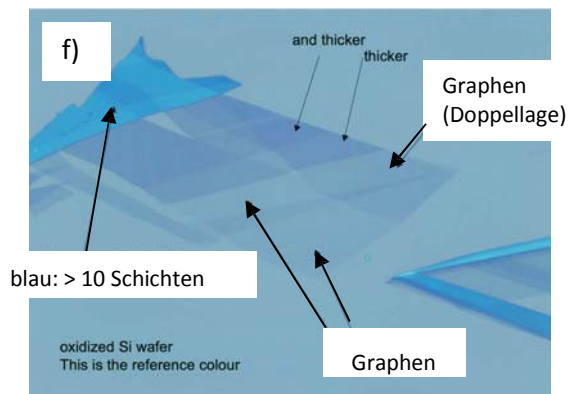
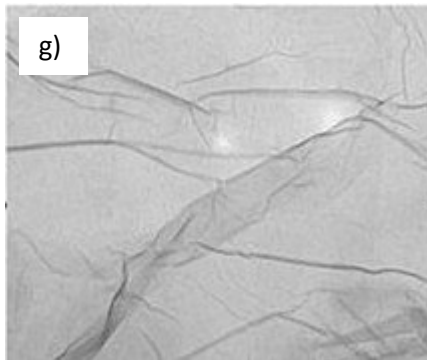


9. Legen Sie den Wafer unter ein Mikroskop mit einem 100-fach vergrößernden Objektiv. Dort sehen Sie reichlich Graphittrümmer: große, glänzende Bröckchen in allen möglichen Farben und Formen (115-fache Vergrößerung).





10. Mit ein wenig Glück ist aber auch Graphen darunter: transparente, fast farblose kristalline Plättchen. Das stufenartige Muster zeigt eine Ansammlung übereinander gestapelter Graphenschichten (200-fache Vergrößerung). Unter dem Rasterkraftmikroskop sehen diese Flächen aus wie Seidentücher. Sie sind 10.000-mal dünner als ein Haar.



**Bearbeiten Sie auch nachfolgende Aufgabe:**

- Diskutieren Sie die Möglichkeit einer Graphen-Herstellung aus Diamant nach der Klebeband-Methode.

**Bildquellen:**

- D.I.Y. Graphene: How to Make One-Atom-Thick Carbon Layers with Sticky Tape, Scientific American, 20. März 2008  
[http://www.scientificamerican.com/slideshow.cfm?id=diy-graphene-how-to-make-carbon-layers-with-sticky-tape&photo\\_id=04C56101-F7F2-99DF-3FD38426FEFCFA86](http://www.scientificamerican.com/slideshow.cfm?id=diy-graphene-how-to-make-carbon-layers-with-sticky-tape&photo_id=04C56101-F7F2-99DF-3FD38426FEFCFA86)  
Fotos von: a) – d) Pablo Jarillo-Herrero, Columbia University New York  
e) – f) Peter Blake, Graphene Industries
- Foto g), <http://en.wikipedia.org/wiki/Graphene>, Bildurheber: Raywhitby, (CC BY-SA 3.0)

**Lösungshinweis zu Versuch 8: Nanokohlenstoff**

- *Diskutieren Sie die Möglichkeit der Graphen-Herstellung aus Diamant nach der Klebeband-Methode.*

Nach der Klebeband-Methode ist Graphen **nicht** aus Diamant herstellbar, weil die einzelnen Schichtungen von Kohlenstoff-Atomen im Diamant über Atombindungen miteinander verbunden sind. Im Gegensatz hierzu werden die Kohlenstoffschichten im Graphit nur durch Van-der-Waals-Kräfte zusammengehalten, die sich leicht gegeneinander verschieben oder voneinander trennen lassen.

**Arbeitsblatt 9: Pro-Contra – Debatte**

**Aufgaben zur Vorbereitung der Debatte in der kommenden Stunde:**

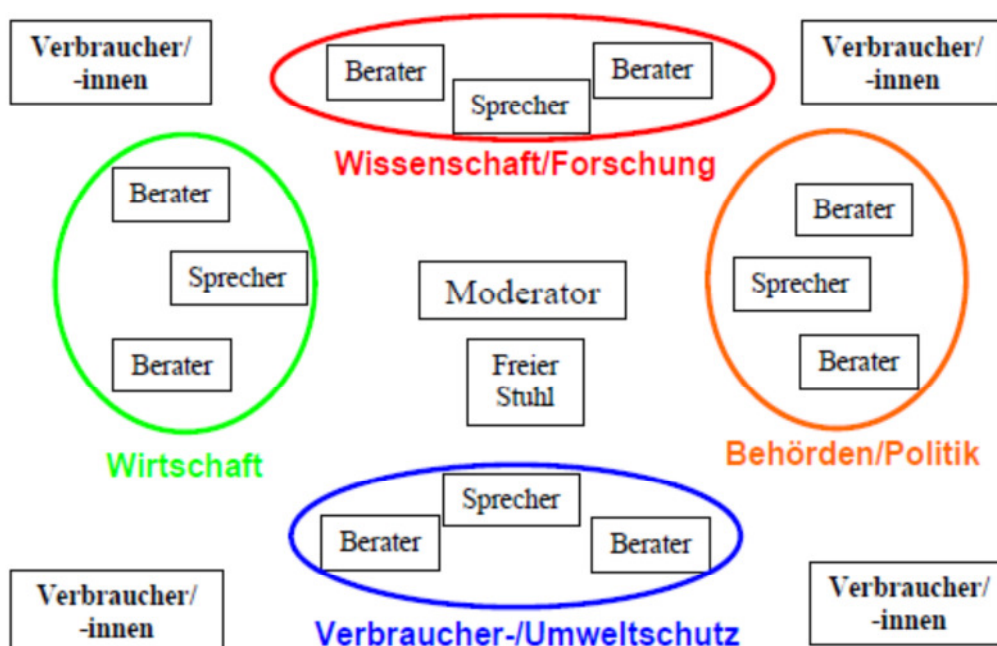
Unten aufgeführte Gruppierungen sollen unter Leitung eines Moderators / einer Moderatorin (z.B. Chemielehrer/-in) Pro - Contra der Nutzung der Nanotechnologie diskutieren.

a) Teilen Sie den Kurs in 5 Gruppen und bestimmen Sie Personen für die verschiedenen Funktionen:

- 4 Gruppen vertreten die Interessen von ... und beziehen folgende Position:
  - Wissenschaft-Forschung: Hightech-Forschung wie in der Nanotechnologie ist immens teuer. Als Mitarbeiter / Leiter einer Forschungsgruppe sind Sie in der Lage, potenzielle Geldgeber von den Chancen und der großen Bedeutung der Ergebnisse in diesem Wissenschaftsbereich zu überzeugen, und verteidigen ihr Projekt.
  - Wirtschaft-Industrie: Herstellung und Vermarktung von nanotechnologischen Produkten versprechen weltweit große Umsatz- und Gewinnsteigerungen. Nanotechnologie bedeutet für Sie und Ihren Betrieb Fortbestand und Wachstum auch in Zukunft.
  - Politik-Behörden: Sie erkennen das Potenzial der Nanotechnologie und sind grundsätzlich bereit, Steuergelder für Forschung und Entwicklung zur Verfügung zu stellen; die finanzielle Unterstützung kann aber nur erfolgen, wenn die Risiken kalkulierbar sind.
  - Verbraucher- u. Umweltschutz: Die Auswirkungen nanoskaliger Produkte auf die menschliche Gesundheit bzw. die Umwelt sind noch wenig erforscht, so dass Sie vor bestimmten Anwendungen der Nanotechnologie warnen.

Jede dieser 4 Gruppen besteht jeweils aus 1 x Sprecher/-in + 2 x Berater/-innen.

- die übrigen Schülerinnen und Schüler sind Zuhörer/-innen und vertreten die Verbraucher/-innen: sie sollten selbst Fragen stellen oder können Beiträge liefern (-7 Freier Stuhl) und geben in der nächsten Unterrichtsstunde ein Feedback (z.B. in Hinblick auf Glaubwürdigkeit in der Rolle als ..., Logik in der Argumentation etc.)



- b) Lesen Sie sich die ausgegebenen Texte aufmerksam durch und sammeln Sie alle Argumente Ihrer Gruppenzugehörigkeit (z.B. Wissenschaft).
- c) Ordnen Sie die gesammelten Argumente nachfolgend aufgeführten Leitfragen zu (Hinweis: in den Texten lassen sich nicht zu allen Leitfragen immer für die 4 Gruppierungen Argumente finden). **Üben Sie doch am besten schon einmal gruppenintern vor der Debatte.**

**Leitfragen für die Diskussion in der nächsten Unterrichtsstunde: Beziehen Sie vor der Debatte Stellung als Interessensgruppe und achten Sie darauf, Ihre gruppentypischen Positionen zu vertreten.**

- 1) Die *Nanotechnologie* wird gerne mit Begriffen wie „Technologie des 21. Jahrhunderts“ und „Zukunftstechnologie“ verbunden. Handelt es sich hierbei um reine Science fiction oder existieren bereits Anwendungen, denen man als Verbraucher im Alltag begegnen kann?
- 2) Warum wird die Nanotechnologie als zukunftsweisend eingeschätzt? Welche Chancen werden mit ihr verbunden?
- 3) Schön und gut. Wie sieht es mit der Kehrseite der Medaille aus? In den vergangenen Jahren wurden vermehrt auch Stimmen laut, die Risiken in der Nutzung der Nanotechnologie sehen. Von welchen Risiken ist hier die Rede?
- 4) Was bedeutet dies nun konkret? Sollte die Nanotechnologie insgesamt als gesundheits- und umweltgefährdend eingestuft werden?
- 5) Wie lautet Ihre Stellungnahme am Ende der Debatte?
- 6) Überlegen Sie nach der Debatte gruppenintern, ob Sie möglicherweise Ihre ursprüngliche Position verändern müssen. Suchen Sie gegebenenfalls nach einer Lösung, die die gruppenspezifischen Interessen weitestgehend wahrt.

Thema: Nanotechnologie



## Sammlung von Artikel-Überschriften aus:

DIE ZEIT

- **Im Reich der Zwerge** (Die Zeit, 28. Juni 2001)
- **Goldgräber im Zwergenreich** (Die Zeit, 14. Feb. 2002)
- **Auf zu neuen Dimensionen** (Die Zeit, 29. Juni 2005)
- **Nanotechnologie – Unschuld verloren** (Die Zeit, 27. Nov. 2008)
- **Verdächtige Zwerge** (Die Zeit, 24. Juni 2009)
- **Nanopartikel stören die Hirnentwicklung bei Mäusen** (Die Zeit, 8. Aug. 2009)
- **Wie gefährlich ist die Nanotechnologie?** (Die Zeit, 22. Okt. 2009)
- **Warten auf den Störfall** (Die Zeit, 22. Okt. 2009)

## Sammlung von Artikel-Überschriften aus: **Frankfurter Allgemeine** ZEITUNG FÜR DEUTSCHLAND

- **Revolutionäre Möglichkeiten durch Nanotechnologie** (FAZ, 25. Sep. 2001)
- **Gefräßige Nanobots - Michael Crichton schürt die Angst vor der neuen Technologie** (FAZ, 29. Nov. 2002)
- **Nanoprodukte sorgen für schimmelfreie Räume** (FAZ, 25. Jan. 2006)
- **Nanotechnologie – Lauert im Zwergenreich Gefahr?** (FAZ, 20. Feb. 2006)
- **Nanotechnik – Die Invasion der Winzlinge** (FAZ, 1. Aug. 2006)
- **Nanotherapie – Hitze gegen Hirntumore** (FAZ, 19. Dez. 2009)
- **Nanotech – eine Taschenlampe aus wenigen Molekülen** (FAZ, 2. Feb. 2011)
- **Nano ist das Maß aller Dinge – und harmlos?** (FAZ, 19. Jan. 2011)

**Informationsblatt 12: Behörde****Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)**

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) arbeitet im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zu wissenschaftlichen Themen rund um den gesundheitlichen Verbraucherschutz. Das BfR ist nationaler Partner der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit.

**Textquelle:** „BfR-Delphi-Studie zur Nanotechnologie“, René Zimmer, Rolf Hertel, Gaby-Fleur Böhl, Berlin 2009 ([http://www.bfr.bund.de/cm/238/bfr\\_delphi\\_studie\\_zur\\_nanotechnologie.pdf](http://www.bfr.bund.de/cm/238/bfr_delphi_studie_zur_nanotechnologie.pdf)) (gekürzt, verändert)

Das Bundesinstitut für Risikobewertung als in Deutschland zuständige unabhängige Bundesinstitution hat in diesem Zusammenhang gemeinsam mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin sowie dem Umweltbundesamt eine Forschungsstrategie zur Ermittlung potenzieller Risiken der Nanotechnologie entwickelt. [...]

Nanotechnologien werden in einer Vielzahl von Branchen angewendet und beziehen verschiedene Herstellungsverfahren, Substanzen und Produkte mit ein. Angesichts der Breite des Untersuchungsgegenstandes hat das BfR entsprechend seiner fachlichen Zuständigkeit die Forschungsschwerpunkte in den verbrauchernahen Anwendungsbereichen Lebensmittel, Kosmetika und Bedarfsgegenstände (Textilen und Oberflächenbeschichtungen) gelegt. Die Zielsetzung der 2006 durchgeführten Expertenbefragung: Bewertungen, ob potenziell schädigende Effekte der Nanotechnologien erwachsen könnten:

- aus der Natur der Nanopartikel/Nanomaterialien selbst (z.B. ihrer chemischen Reaktivität)
- aus Eigenschaften der aus Nanopartikeln/Nanomaterialien hergestellten Produkte oder
- aus Aspekten des Herstellungsprozesses, die sich im Endprodukt zeigen. [...]
- welche Anwendungen von Nanotechnologien in den definierten Bereichen bereits jetzt oder zukünftig realisiert werden,
- welche Risiken und nicht erwünschten Folgen erwartet werden und
- welche Anwendung dabei besonders für Verbraucher Risiken erwarten lassen.

Einschätzung des Gefährdungspotenzials durch Experten aus Forschung, Industrie, Verbraucher- und Umweltschutz an ausgewählten Beispielsubstanzen:

**(A) Siliziumdioxid**

Eine Bewertung der Substanz Siliziumdioxid in nanopartikulärer Form ist aufgrund sich widersprechender Expertenaussagen nicht möglich. Neues Datenmaterial aus der Praxis kann durchaus hilfreich sein, um im Experiment gezeigte Wirkungsmechanismen im Anwendungszusammenhang zu überprüfen. Eine Zusammenarbeit zwischen anwendender Industrie und Behörden scheint aufgrund der Ergebnisse dieses Abschnittes empfehlenswert.

**(B) Titandioxid**

43% der Expertinnen und Experten sind der Meinung, dass Titandioxid keine genotoxischen Risiken für den Menschen mit sich bringt. Nur 14% lehnen die These ab. Im Jahr 2000 haben umfassende Industriestudien bereits gezeigt, dass bei üblichem Gebrauch von nanoskaligen TiO<sub>2</sub>-Partikeln keine Risiken bestehen und dass TiO<sub>2</sub> bei entsprechender Partikelgröße nicht genotoxisch wirke. Es gibt jedoch keine Untersuchungen zu entzündeter oder verletzter Haut.

**(C) Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT)**

44,6 % der Befragten waren der Meinung, dass beim Einatmen von CNTs ähnliche Wirkungen auftreten können, wie sie beim Einatmen von Asbestfasern vorkommen. Dem widersprachen nur 12,3% der Expertinnen und Experten. Vielmehr seien Einzelfallbetrachtungen notwendig, die z.B. berücksichtigen, ob CNTs in eine Matrix eingebunden seien. [...] Die aktuelle Datenlage lässt jedoch keine eindeutige Aussage und abschließende Bewertung zu.

**Fazit des Bundesinstituts für Risikobewertung zu Risiken von Nanomaterialien:**

*Gefährdungspotenzial*

- Die Bewertung der Expertinnen und Experten hinsichtlich der Toxizität von Nano- materialien liefert kein klares Bild. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist damit keine sinnvolle Risikobewertung aufgrund kritischer, leicht identifizierbarer Faktoren wie z. B. der Größe, Gestalt oder Löslichkeit möglich.
- Für jeden Anwendungszusammenhang muss eine spezifische Datenlage aufgebaut werden, bevor eine stimmige Beschreibung von Toxizitätspotenzialen und Wirkmechanismen gegeben werden kann.
- Anhand der Ergebnisse zeigt sich eine eindeutige Tendenz, dass luftgetragene Nano- materialien sehr viel häufiger ein toxisches Potenzial zugewiesen bekommen als in allen übrigen Aggregatzuständen.

*Kontakt (Exposition)*

- Die Experten rechnen mit einer moderaten bis starken Zunahme des Verbrauchs an Nano- materialien, so dass in Zukunft Arbeitnehmer und Verbraucher häufiger in Kontakt mit Nanomaterialien kommen werden. Als besonders dynamisch wird der Markt für kohlenstoffbasierte Nanomaterialien und für Nanokomposite angesehen.
- Nach Ansicht der Experten ist Aufnahme über die Atemwege am kritischsten. Hier dürften am ehesten negative gesundheitliche Effekte [...] zu erwarten sein.
- Bei der Aufnahme von Nanopartikeln über den Mund geht zumindest ein Teil der Experten davon aus, dass es zu einer Verteilung im Körper komme.
- Auch bei sehr kleinen Nanopartikeln geht eine Mehrheit der Experten davon aus, dass Nanopartikel nicht durch die Haut in den Organismus gelangen. Ebenso wird mehrheitlich eine eingeschränkte Schutzfunktion bei verletzter Haut erwartet. Sind Nanomaterialien in einer festen Matrix gebunden, rechnen die Experten mehrheitlich mit geringer Hautbelastung.
- Insgesamt warnen die Expertinnen und Experten vor generelle Aussagen und plädieren für Einzelfallbetrachtungen.

*Mögliche gesundheitsschädliche Effekte*

- Die Expertinnen und Experten gehen nicht davon aus, dass von Nanoprodukten insgesamt gesundheitsschädliche Effekte ausgehen. 22 von 30 abgefragten Produkten wurden mehrheitlich als gesundheitlich unbedenklich eingestuft. Beim Einsatz von Nanomaterialien in Lebensmitteln gelten abbaubare oder gut belegte Substanzen wie SiO<sub>2</sub> als unbedenklich.
- Obwohl die Mehrheit der Expertinnen und Experten einen Abrieb aus Oberflächen- beschichtungen und beschichteten Textilien auch in nanoskaliger Form theoretisch für denkbar hält, wird darin aufgrund der geringen Dosis mehrheitlich kein gesundheitliches Risiko gesehen. Die Abriebe finden vor allem beim Waschvorgang und damit ohne direkten Kontakt mit Verbrauchern statt. Die Umweltproblematik ist dagegen noch nicht geklärt.
- Sieben von 30 Nanoprodukten wurden geringe gesundheitsschädliche Effekte zugewiesen (Silberpartikel in Wandfarben zur Schimmelbekämpfung, CNTs für leitfähige Gewebe, TiO<sub>2</sub> in Sonnencremes, Silber-Nanopartikel in Seifen, Silber-Nanopartikel in Nahrungs- ergänzungsmitteln).
- Für die Anwendungen mit Silber gilt, dass eine leichte toxische Wirkung beabsichtigt ist und als biozide Wirkung zu den Materialeigenschaften zählt. Dennoch sehen die Expertinnen und Experten zusätzlichen Forschungsbedarf. Kritisch gesehen wird, dass durch übermäßigen Einsatz von Silber in Textilien und Oberflächen Sensibilisierungen verstärkt werden oder dass sich Resistenzen ausbilden könnten.
- Bei der Anwendung von C<sub>60</sub>-Fullerene in Anti-Aging-Kosmetik erwarten die Experten gesundheitsschädliche Effekte, obwohl die Wissensbasis, auf der diese Einschätzung beruht, gering ist.
- Die Anwendungen von Aerosolsprays mit Nanomaterialien werden kritisch betrachtet, weil von einer erhöhten Expositionsmöglichkeit auszugehen ist. Welche gesundheitlichen Effekte Nanomaterialien in Aerosolsprays allerdings auslösen und ob überhaupt Nanomaterialien in den Sprays enthalten sind, ist in Expertenkreisen umstritten.



**Informationsblatt 13: Politik - Bundesregierung**

**Textquelle:** „*nano.DE-Report 2009 - Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland*“, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn - Berlin 2009  
([http://www.bmbf.de/pub/nanode\\_report\\_2009.pdf](http://www.bmbf.de/pub/nanode_report_2009.pdf))  
(gekürzt, verändert)

- Die Analysen zeigen, dass der Nanotechnologie-Sektor sich dynamisch entwickelt. Aktuelle Marktprognosen gehen von einer volkswirtschaftlichen Hebelwirkung der Nanotechnologie auf ein Weltmarktvolumen von bis zu 3 Billionen \$ bis zum Jahr 2015 aus. Dies entspricht ca. 15 % der globalen Güterproduktion. Nanotechnologisches Know-how wird mittelfristig einen immensen Einfluss auf die Bereiche Gesundheit, Informations- und Kommunikationstechnik sowie der Energie- und Umwelttechnik ausüben.
- Rund 750 Unternehmen in Deutschland befassen sich in unterschiedlichen Stufen mit der Entwicklung und Vermarktung nanotechnologischer Produkte, Verfahren und Dienstleistungen.
- Bei der Nanotechnologie handelt es sich um ein relativ junges Technologiefeld. Ca. 70 % der Nanotechnologie-Unternehmen sind nach 1985 gegründet worden. Bei ca. einem Viertel der Unternehmen spielten bei der Gründung Fördergelder des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, des Bundeswirtschaftsministeriums sowie der Landes- und EU-Ebene eine wichtige Rolle. Als weitere wichtige Faktoren bei der Gründung sind der Know-how Transfer aus Forschungsinstitutionen zu nennen.
- Die Gesamtzahl der derzeit im Bereich der Nanotechnologie Beschäftigten in Deutschland wird auf rund 63.000 geschätzt. Der in Deutschland generierte Umsatz in der Nanotechnologie betrug ca. 33 Mrd. Euro im Jahr 2007.
- Die Nanotechnologie-Unternehmen weisen eine relativ hohe Exportorientierung auf. Nur für ein Fünftel der Unternehmen ist Deutschland der dominierende Absatzmarkt mit einem Anteil von > 75 %.
- Die große Mehrheit der Nanotechnologie-Unternehmen rechnet bis zum Jahr 2010 mit steigenden Umsatz- und Mitarbeiterzahlen sowie Forschungsinvestitionen. Mehr als die Hälfte der Unternehmen erwarten Umsatzsteigerungen von über 10 % gegenüber dem Jahr 2007.

**Textquelle:** „*nano.DE-Report 2009 - Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland*“, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn - Berlin 2009  
([http://www.bmbf.de/pub/nanode\\_report\\_2009.pdf](http://www.bmbf.de/pub/nanode_report_2009.pdf))  
(gekürzt, verändert)

Um die Rahmenbedingungen für eine effizientere wirtschaftliche Umsetzung der Nanotechnologie in Deutschland zu verbessern, hat die Bundesregierung im Jahr 2006 die „*Nano-Initiative – Aktionsplan 2010*“ ins Leben gerufen. Als Maßnahme im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung soll damit eine stärkere Vernetzung von Wissenschaft, Wirtschaft, Bildung und Öffentlichkeit erzielt werden.

Durch die Initiierung von Forschungsprojekten zur Untersuchung möglicher Risiken durch Nanopartikel im Projektcluster *NanoCare* erfolgte ein wesentlicher Schritt im Hinblick auf eine verantwortungsvolle Nutzung der Nanotechnologie. Die Information der Öffentlichkeit u.a. im Rahmen der Informationskampagne *nanoTruck* sowie ein gesellschaftlicher Dialog zu Chancen und Risiken der Nanotechnologie ist intensiviert worden und bezieht sämtliche relevanten gesellschaftlichen Interessensvertreter ein.

**Textquelle:** „*nano.DE-Report 2009 - Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland*“, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bonn - Berlin 2009  
([http://www.bmbf.de/pub/nanode\\_report\\_2009.pdf](http://www.bmbf.de/pub/nanode_report_2009.pdf))  
(gekürzt)

*Verantwortlicher Umgang mit Nanotechnologien – Ergebnisse der **Nanokommission** der Bundesregierung:*

Die NanoKommission wurde Ende 2006 als zentrales nationales Dialogforum der Bundesregierung geschaffen. Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft, Unternehmen, Umwelt- und Verbraucherorganisationen, Gewerkschaften, Ministerien und Behörden haben Erfahrungen und Informationen mit Bereitschaft zur ergebnisoffenen Zusammenarbeit ausgetauscht. Schwerpunkt der Arbeit war die Aufgabe, Nutzen und Risiken von Nanomaterialien zu betrachten. In einer Situation von unzureichendem, vorläufigem Wissen stellt sie Kriterien für eine vorläufige Bewertung von Nutzen und Risiken zur Verfügung und formuliert grundlegende Prinzipien eines verantwortungsvollen, vom Vorsorgeprinzip getragenen Umgangs mit Nanomaterialien. Damit leistet sie einen Beitrag, nachhaltige Innovationen auf dem Feld der Nanomaterialien zu fördern. Allgemeine Aussagen, ob Nanomaterialien prinzipiell gefährlich sind oder nicht, lassen sich nicht treffen. Nanomaterialien müssen immer im Einzelfall unter Abwägung des möglichen Nutzens mit den potentiellen Risiken bewertet werden. Die Kommission sieht durchaus Chancen, dass durch Einsatz von Nanomaterialien wichtige Beiträge zu einem effizienteren Umgang mit Ressourcen und zum Gesundheitsschutz geleistet werden können. Die Beispiele reichen von der Entwicklung von Batterien und Solarzellen über Dämmstoffe bis hin zu neuartigen Filtern für Wasserreinigung. Solche Chancenanalysen sollten aber systematischer und auf breiterer Informationsbasis vorgenommen werden. Die Nanokommission sieht Handlungsbedarf auf vier Feldern:

- Angesichts vorläufigen und lückenhaften Wissens über die Wirkungen häufig verwandter Nanomaterialien auf Umwelt und menschliche Gesundheit sieht die Nanokommission deutlichen Handlungsbedarf auf dem Feld der Sicherheitsforschung. Hier müssen durch verstärkte Forschungsförderung Wissenslücken abgebaut, die Aussagekraft von Risikoforschung gestärkt und Methoden der Risikobewertung verbessert werden. Nur so können staatliche Behörden ihrer Verantwortung für Schutz von Mensch und Umwelt beim Umgang mit Nanomaterialien, angefangen beim Arbeitsschutz, gerecht werden.
- Die Nanokommission geht davon aus, dass die Zahl der Nano-Produkte und Anwendungen – sie werden aktuell auf mindestens 800 geschätzt – weiter steigen wird. Zu einer neuen Innovationskultur gehört eine bestmögliche Transparenz für Verbraucherinnen und Verbraucher. Die Kommission empfiehlt deshalb die Schaffung einer unabhängigen Marktübersicht über verfügbare Nanoprodukte, um verbraucherrelevante Informationen und neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu sammeln und in verständlicher Weise aufzubereiten.
- Maßnahmen des vorsorgenden Risikomanagements, die die Industrie in eigener Verantwortung durchführt, werden begrüßt. Das schließt auch im Einzelfall eine Entscheidung ein, bei zu vielen Wissenslücken vorläufig auf eine Anwendung zu verzichten, bis gesicherte Erkenntnisse vorliegen. Grundlage dafür sollen von der Kommission erarbeitete Prinzipien sein: Transparenz, Risikomanagement, Bereitschaft zum Dialog, Übernahme von Verantwortung. Diese Arbeit soll öffentlich auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden.

**Textquelle:** Pressemitteilung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), Berlin 12. Januar 2011 (<http://www.bmbf.de/press/3030.php>)  
(gekürzt)

**Kabinett beschließt den Aktionsplan Nanotechnologie 2015**

*Schavan: „Mit diesem ressortübergreifenden Konzept werden wir die Chancen der Nanotechnologie für Deutschland verantwortungsvoll nutzen“*

Das Kabinett hat heute den Aktionsplan Nanotechnologie 2015 verabschiedet. Die Nanotechnologie ist von einer forschungsnahen Disziplin zu einem Wirtschaftsfaktor mit weitreichenden Auswirkungen geworden. [...]

„Mit dem Aktionsplan 2015 geben wir der nachhaltigen und sicheren Erforschung und Nutzung der Nanotechnologie einen neuen Rahmen“, sagte Bundesforschungsministerin Annette Schavan heute in Berlin. „Die Nanotechnologie hat Einzug in das tägliche Leben der Menschen gehalten. Damit ergeben sich auch für die Politik neue Herausforderungen, denen wir mit dem Aktionsplan 2015 Rechnung tragen.“

Bereits heute leistet die Nanotechnologie wichtige Dienste, zum Beispiel bei der Hyperthermie, einer Krebstherapie auf Basis von Nanopartikeln, bei der einfachen Trinkwasseraufbereitung durch nanoporöse Filter, in Windkraftanlagen, deren immer größer werdende Rotoren durch Kohlenstoffnanoröhrchen besonders stabil und dennoch sehr leicht gebaut werden können, oder beim Korrosionsschutz durch keramische Nanobeschichtungen, die toxisches Chrom und Nickel ersetzen. „Die Nanotechnologie hat das Potenzial, zu den großen gesellschaftlichen Herausforderungen, wie wir sie in der Hightech-Strategie der Bundesregierung formuliert haben, wichtige technologische Lösungsbeiträge zu liefern. Dazu gehören Gesundheit, Umwelt- und Klimaschutz, die Sicherung der Energieversorgung, umweltfreundliche und energiesparende Mobilität sowie eine nachhaltige Landwirtschaft. Umwelt und Gesundheit dürfen dabei nicht gefährdet werden, deshalb setzen wir einen Schwerpunkt auf die Risikoforschung“, betonte die Ministerin. [...]

Der Aktionsplan schließt an die ressortübergreifende „*Nano-Initiative – Aktionsplan 2010*“ an.

**Informationsblatt 14: Wissenschaft - Risiken**

**Textquellen:**

Spektrumdirekt, [www.wissenschaft-online.de/artikel/997965](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/997965), vom 19. Juni 2009 (Originalpublikation von Mitchell, L.A. et al.: *Pulmonary and Systemic Immune Response to Inhaled Multiwalled Carbon Nanotubes*. In: *Toxicological Sciences* 100, S. 203-214, 2007)

**Winzige Gefahr Atemluft**

Kohlenstoff-Nanoröhrchen unterdrücken Immunsystem von Mäusen

Kohlenstoff-Nanoröhrchen finden sich längst in Allerweltsprodukten wie Tennisschlägern. Dabei ist noch nicht völlig klar, ob die winzigen, asbestähnlich geformten Partikel Menschen gefährlich werden können. Risikoforscher zeigen nun, wie die Teilchen das Immunsystem von Mäusen schwächen. Ob auch die Abwehrkräfte von Arbeitern leiden, die Nanoröhrchen einatmen, bleibt weiter unklar.

**Textquellen:**

Spektrumdirekt, [www.wissenschaft-online.de/artikel/1001610](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/1001610), vom 17. Juli 2009 (Originalpublikation von Poland, C. A. et al.: *Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study*. In: *Nature Nanotechnology*, 2008)

**Heikle Nanos im Warenregal**

Unklare Gefahrenlage bei Nanomaterialien

"Nano" ist nicht gleich "Nano". So unterschiedlich Form und Material der Partikel, so verschieden ist auch ihre Wirkung auf den Organismus. Beispielsweise ähneln die Kohlenstoffröhrchen Asbestfasern, die Entzündungen und auf Dauer Krebs auslösen können. Britische Forscher, die daraufhin die Nanonadeln in die Bauchhöhle von Mäusen injizierten, beobachteten Entzündungen im so genannten Mesothel, einem Gewebe, das die Lunge ummantelt. Allerdings hatten nur lange Röhrchen diese Wirkung, kurze hingegen nicht.

**Textquellen:**

Spektrumdirekt, [www.wissenschaft-online.de/artikel/1001610](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/1001610), vom 17. Juli 2009 (Originalpublikation von Yang, W. et al.: *Food storage material silver nanoparticles interfere with DNA replication fidelity and bind with DNA*. In: *Nanotechnology* 20, 085102, 2009)

**Heikle Nanos im Warenregal**

Unklare Gefahrenlage bei Nanomaterialien

Nanomaterialien - meist auf weniger als 100 Nanometer Durchmesser zerkleinerte Partikel - erobern an vielen Fronten den Markt. Dahinter steckt ein einfaches Prinzip: Zerkleinert man ein Material in immer winzigere Teilchen, wächst seine Oberfläche um ein Vielfaches. Ein Pulver aus diesen Teilchen bietet seiner Umgebung daher enorm viel Kontaktfläche. Resultat: Nanopartikel aus Silber machen Bakterien weitaus effizienter den Garaus als Staub aus größeren Körnchen.

Silber-Nanoteilchen können aber auch in Zellkerne eindringen und die Teilungsfähigkeit der DNA herabsetzen. Schleichen sich bei der Vervielfältigung des Erbmoleküls Fehler ein, kann das schließlich sogar zu Krebs führen.

**Textquellen:**

Spektrumdirekt, [www.wissenschaft-online.de/artikel/1001610](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/1001610), vom 17. Juli 2009 (Originalpublikation von Mitgliedern des NanoCare-Konsortiums: Gesundheitsrelevante Aspekte synthetischer Nanomaterialien. Broschüre, 2009)

**Heikle Nanos im Warenregal**

Unklare Gefahrenlage bei Nanomaterialien

Eingeatmete Partikel gelangen in die kleinsten Lungenbläschen, wo normalerweise Fremdkörper von Makrophagen des Immunsystems unschädlich gemacht werden. Doch auf die neuen Nanomaterialien sind diese Zellen nicht eingerichtet: "Unser körpereigenes Abwehrsystem bekämpft Fremdkörper, die 10 bis 100 Mal größer sind als Nanopartikel", sagt *Wolfgang Kreyling vom Deutschen Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt in München*.

Dazu passt ein Befund des Forschungsprojekts NanoCare, das von Bund und Industrieunternehmen finanziert wurde und vor Kurzem seinen Abschlussbericht vorlegte. Die Forscher ließen Ratten Titandioxid-Nanopartikel einatmen. "Sie riefen eine Entzündung der Lunge hervor", heißt es auf der Internetseite von NanoCare. Dies sei zwar eine typische Reaktion auf fremde Partikel. Die Reaktion sei aber stärker gewesen als auf Stäube aus größerem Titandioxid.

Im Blut angelangt, ist der Weg in die Zellen frei. Was dort passieren kann, zeigen mehrere Studien an Zellkulturen. So scheinen etwa Titandioxid-Nanopartikel so genannten oxidativen Stress auszulösen, der Zellproteine und die Erbsubstanz schädigen kann.

Machen Nanoprodukte also krank? Diese und noch viele weitere Befunde beweisen weder das eine noch das andere. Denn selbst vom giftigsten Stoff geht keine Gefahr aus, wenn er nicht in ausreichender Menge in den Körper gelangt. Und darin besteht ein Grundproblem der Risikoforscher: Sie wissen nicht, wie viele Nanopartikel aus Produkten heraus- und in den menschlichen Körper hineingelangen. Sie wissen nicht einmal, ob Konsumenten überhaupt in nennenswertem Maß mit ihnen in Kontakt kommen: "Wahrscheinlich sind viele der Teilchen in den mit 'Nano' etikettierten Produkten gar keine Nanopartikel", sagt *Kreyling*. Denn oft verklumpen sie und haben mit mehr als tausend Nanometer Durchmesser keine Chance, ins Blut einzudringen. Aber sicher sind sich die Forscher nicht. "Es gibt keine Daten von der Industrie über den Anteil wirklicher Nanoteilchen", sagt *Kreyling*.

**Textquellen:**

Spektrumdirekt, [www.wissenschaft-online.de/artikel/958043](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/958043), vom 3. Juni 2008 (Originalpublikation von Scheufele, D.A. et al.: *Scientists worry about some risks more than the public*. In: *Nature Nanotechnology* 2, S. 732-734, 2007)

**Stiefkind Risikoforschung**

Es gibt viel zu tun für Nanotechnologie-Sicherheitsforscher. Doch ihre Unterstützung durch den Staat lässt zu wünschen übrig: Mit 9,4 Millionen Euro hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im letzten Jahr "Begleitforschung" und "Begleitmaßnahmen" (Kommunikation, Information, Aus- und Weiterbildung) zur Nanotechnologie gefördert, das sind 6,3 Prozent der Fördersumme, die das Ministerium in die Nanotechnologie investierte (146 Millionen Euro). "Das ist ein verhältnismäßig großer Anteil", findet Krug. Er dämpft die Begeisterung aber gleich wieder: "Andererseits ist in den meisten europäischen Ländern, insbesondere auch in Deutschland, die Unterstützung für eine umweltbezogene und gesundheitsbezogene Toxikologie eingefroren oder durch Umwidmung von Lehrstühlen in einigen Universitäten und Forschungseinrichtungen beendet worden", sagt Krug. Es bleibt zu hoffen, dass angesichts der Vernachlässigung der Risikoforschung aus den Wissenslücken kein Wissensabgrund wird. Dieser scheint zwischen Nanotechnik-Experten und der Öffentlichkeit schon zu bestehen, denn die beiden Seiten reden offenbar kaum miteinander. Bei seiner Umfrage stellte Scheufele fest, dass sich Nanotechnologie-Forscher wesentlich stärker um die gesundheitlichen Risiken der Nanotechnologie sorgen als Laien. Etwa ein Drittel der Wissenschaftler gab an, dass sie neue Gesundheitsprobleme durch die Nanotechnologie erwarten - gegenüber den gut 20 Prozent bei den Laien.

**Informationsblatt 15: Wissenschaft - Chancen****Textquellen:**

Spektrum der Wissenschaft-Magazin, *Wie Nano das Auto verändert*, von Björn Lohmann, S. 90-97, Feb. 2009  
(Originalpublikationen: *Leitinnovation NanoMobil*, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), <http://www.bmbf.de/de/1846.php>  
André, G. et al.: *nano – Chancen und Risiken aktueller Technologien*, Springer-Verlag Heidelberg, 2007)

Sicherheit, Komfort sowie der Bereich Umweltschutz, Treibstoffverbrauch und Materialverschleiß sind die großen Anwendungsgebiete für Nanotechnologie im Auto.

Eine Minimierung des Kraftstoffverbrauchs ließe sich erreichen, indem man Reibung und Verschleiß im Motor senkt oder durch neue Materialien Gewicht spart. »Nano« kommt auch in Batterien oder Brennstoffzellen zum Einsatz, und auch effizientere Katalysatoren, die zudem auf Schwermetalle verzichten, würden die Umwelt entlasten.

Ein weiterer großer Anwendungsbereich ist die Sicherheit. Nanosensoren könnten zahlreiche Daten über Wetter und Fahrbahnzustand, Motorsysteme und Reifendruck zusammentragen und beschichtete Spiegel und Scheiben die Sicht des Fahrers verbessern. LEDs mit hoher Lichtausbeute würden in Strom sparenden Fahrzeugscheinwerfern verwendet, und ermüdungsfreie Nanostähle könnten die Zuverlässigkeit von Fahrzeugen im Güterverkehr erhöhen.

Nicht zuletzt profitieren Autofahrer auch von neuartigem Komfort – oder können zumindest davon träumen. Abschattbare Fenster, »selbstreinigende« Sitze und ebensolcher Lack oder gar die variable Dämpfung des Fahrwerks in voller Fahrt gehören zu dem, was Materialstrukturen mit Größenordnungen im Bereich von milliardstel Metern schon leisten oder zumindest versprechen.

In den kommenden Jahrzehnten werden sie in praktisch alle Fahrzeugkomponenten vordringen.

**Textquellen:**

R. Fries et al., Inst. für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften: *Nanosilber*, in: Nanotrust Dossiers, Vol. 10, April 2009  
Shrivastava S. et al.: *Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles*. Nanotechnology Vol. 18, 2007

Die Anwendung von nanopartikulärem Silber im medizinischen Bereich bringt große Vorteile durch seine breite Wirksamkeit gegen eine Vielzahl von Krankheitserregern. Sogar gegen solche, die gegen moderne Antibiotika bereits resistent sind. Hospitalinfektionen durch multi-resistente Erreger treten in großer Zahl auf – alleine in US-Krankenhäusern betrifft dies jährlich ca. 1,7 Millionen Patienten und etwa 100.000 daraus resultierende Todesfälle.

Silbernanopartikel als Bestandteil von Wandfarben und Beschichtungen sind sehr vielversprechend, auch weil sie organische Biozide ersetzen. Daher werden sie in Krankenhäusern, aber auch in Schulen, Büros und in öffentlichen Verkehrsmitteln eingesetzt.

**Gesundheitliche Auswirkungen**

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) stuft Silber als toxische Substanz ein, aber es soll hervorgehoben werden, dass Silber nur in sehr hohen Dosierungen toxisch für Menschen und andere Säugetiere ist. Die maximale Konzentration von 0,1 mg Silber je Liter Trinkwasser und von 0,01 mg je Kubikmeter Luft am Arbeitsplatz sollte nicht überschritten werden. Eine Referenzdosis mit einem Maximalwert von 0,005 mg Silber je kg Körpergewicht und Tag wurde für die Aufnahme von Silber empfohlen.

**Textquellen:**

Spektrumdirekt, [www.wissenschaft-online.de/artikel/962830](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/962830), vom 25. Juli 2008  
(Originalpublikation von Cao, Q. et al.: *Medium-scale carbon nanotube thin-film integrated circuits on flexible plastic substrates*. in: Nature 454, S. 495-500, 2008)

## Großer Chip mit kleinen Röhren

Flexible Chips mit Kohlenstoffelektronik

Nanoröhren aus Kohlenstoff sollte eigentlich die elektronische Zukunft gehören. Eine Fülle hervorragender Eigenschaften (rund 20-mal zugfester als Stahl, Wärmeleitung doppelt so gut wie Diamant, vertragen größere elektrische Stromstärken als Kupferdrähte) macht sie dem herkömmlichen Silizium überlegen. Nur leider sind die Röhren bislang nicht über einfache Laborstudien hinausgekommen. Das könnte sich bald ändern - nun wurde ein Chip auf einem flexiblen Material mit ihnen entwickelt. Der Nanoröhren-Chip ist flexibel und lässt sich auf einen halben Zentimeter Durchmesser zusammenrollen. Vielleicht reicht das aus, um in absehbarer Zukunft die Technik von morgen zu produzieren.

**Textquellen:**

Spektrumdirekt, [www.wissenschaft-online.de/artikel/795400](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/795400), vom 13. Dez 2005  
(Originalpublikation von Nadine Wong Shi Kam, Zhuang Liu and Hongjie Dai: *Carbon Nanotubes as Intracellular Transporters for Proteins and DNA: An Investigation of the Uptake Mechanism and Pathway*. in: Angewandte Chemie Vol. 118, S. 591-595, 13. Dez. 2005)

## Kleine Röhren als Bio-Transporter

Sie sehen aus wie winzigste Nadeln und haben das Potenzial, pharmazeutische Wirkstoffe gezielt in lebende Zellen einzuschleusen: Kohlenstoff-Nanoröhren sind lange dünne Röhren im Nanomaßstab, die aus einer oder mehreren Schichten graphitartig angeordneter Kohlenstoffatome bestehen. Pharmaka können chemisch an ihre Außenseite angeknüpft werden und gelangen dann zusammen mit den Nadelchen ins Zellinnere.

**Textquellen:**

Spektrumdirekt, [www.wissenschaft-online.de/artikel/1028719](http://www.wissenschaft-online.de/artikel/1028719), vom 16. April 2010 (Originalpublikation von Mano, N. et al.: *Engineering hybrid nanotube wires for high-power biofuel cells*. In: Nature Communications 10.1038/ncomms1000, 2010)

## Bio-Brennstoffzellen mit Kohlenstoff-Nanoröhren

Bio-Brennstoffzellen können Energie aus vielerlei Stoffen gewinnen, die in Körperflüssigkeiten vorkommen, zum Beispiel Glukose. Deswegen gelten sie als aussichtsreiche Kandidaten für die Stromversorgung medizinischer Implantate mit geringem Energiebedarf wie Glukosesensoren für Diabetiker. Allerdings ist ihre Leistungsfähigkeit bisher durch unzulängliche Elektroden begrenzt. Wissenschaftler haben das Problem jetzt umgangen - mit Kohlenstoff-Nanoröhren und einem besonderen Herstellungsverfahren.

Dadurch kommt eine wesentlich größere Fläche des Materials mit den Reaktionspartnern in Kontakt, und die Leistungsfähigkeit erhöht sich drastisch. In ihren Versuchen maßen die Forscher eine gegenüber den Kohlefaserelektroden um das Zehnfache erhöhte Leistungsdichte bei deutlich größerer mechanischer und chemischer Stabilität.

**Informationsblatt 16: Verbraucher- und Umweltschutz**
**Textquelle:**

Verbraucherzentrale Bremen, 9. Bremer Forum Gesundheitlicher Verbraucherschutz  
<http://www.verbraucherzentrale-bremen.de/themen/ernaehrung/chancen-und-risiken-der-nanotechnologie.html>

## Chancen und Risiken der Nanotechnologie

Die Nanotechnologie gilt für viele als die Zukunftstechnologie schlechthin. Zahlreiche Industriezweige schätzen zum einen die enorme Vielseitigkeit und zum zweiten die Chance, Energie und Materialien einzusparen. Anwendungsmöglichkeiten bestehen z.B. in der medizinischen Diagnostik und Behandlung, der Solartechnik, der Automobilindustrie, der Kosmetik, der Verpackungsindustrie oder der Abwasseraufbereitung. In der Lebensmittelverarbeitung ist die Anwendung noch nicht sehr weit verbreitet – aber es gibt sie, z.B. in Nahrungsergänzungsmitteln aus den USA, die auch bei uns über das Internet erhältlich sind. Auch in Zahnpasta können Nanopartikel enthalten sein und damit direkt in den menschlichen Organismus gelangen. Mögliche Risiken für Mensch und Umwelt sind nach Auffassung der Verbraucherzentrale Bremen noch nicht umfassend erforscht. Noch weniger können Verbraucher, die zukünftig immer mehr mit dieser Technologie – im wahrsten Sinn des Wortes! – in Berührung kommen werden, die Auswirkungen auf ihre Gesundheit oder auf die Umwelt einschätzen. Dabei werden die Risiken durch fest eingebundene Nanopartikel, wie z.B. in Farben, Lacken oder Beschichtungen, als geringer beurteilt als durch frei verfügbare oder auch frei werdende Nanoteilchen. Letztere finden sich beispielsweise in Desinfektionsmitteln für den Haushalt, in Textilien oder in Sonnenschutzmitteln. Zinkoxid- oder Titandioxid-Nanoteilchen absorbieren schon seit etwa zehn Jahren UV-Strahlen auf den Armen und Beinen von Sonnenanbetern. Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Nanoteilchen über Abschürfungen und Kratzer in tiefere Hautschichten gelangen können. Welche Auswirkungen dieses Eindringen möglicherweise hat, ist bislang unklar. Erst ab 2012 müssen Nanopartikel in der Zutatenliste von kosmetischen Produkten auch mit dem Begriff „*Nano*“ gekennzeichnet werden.

**Textquelle:**

Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv),  
[http://www.vzbv.de/mediapics/positionspapier\\_nanotechnologien\\_oktober\\_2009.pdf](http://www.vzbv.de/mediapics/positionspapier_nanotechnologien_oktober_2009.pdf), Berlin, 16.  
 Oktober 2009

## Nanotechnologien – neue Herausforderungen für den Verbraucher- schutz

### Risiken durch Anwendungen in Verbraucherprodukten

Bei der Betrachtung der Risiken und Chancen der Nanotechnologien ist zwischen frei verfügbaren oder fest eingebundenen Nanopartikeln in Produkten zu unterscheiden. Bei den fest eingebundenen Produkten, wie Lacke, Farben und Beschichtung wird von einem geringeren Risikopotential ausgegangen. Die Risikobetrachtung hat bei frei verfügbaren Nanopartikeln eine besondere Relevanz, da diese vom Verbraucher auf verschiedenen Wegen direkt aufgenommen werden und bei massenhafter Anwendung auch die Umwelt schädigen können. Da insbesondere Ergebnisse aus Langzeitstudien noch vollkommen fehlen, müssen die konkreten Anwendungen in verbrauchernahen Produkten so lange eingeschränkt werden, bis wissenschaftlich belegt ist, dass keine nano-spezifischen Wirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt entstehen.

#### Zu unseren Forderungen gehören:

- YEine einheitliche Definition muss international festgelegt werden
- YRisiko- und Technikfolgenforschung intensivieren
- YStaatliche Zulassung und Registrierung von Nanomaterialien und -produkten
- YKennzeichnung von Produkten und Rohstoffen, die Nanomaterialien enthalten
- YAktive Information von Verbrauchern und Kommunikation mit den Verbrauchern



**Textquelle:**

Global 2000, Nanotechnologie – Was hat das mit mir zu tun? (gekürzt)

<http://umwelt.lebensministerium.at/article/articleview/77864/1/7033/>

Die Broschüre wurde von "Global 2000" mit Unterstützung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Wien) erstellt.

**Nanotechnologien – Was hat das mit mir zu tun?**

Über die möglichen Wirkungen synthetischer Nanopartikel auf Lebewesen und Umwelt gibt es nur unzureichende Informationen. Eine verlässliche umfassende Risikoabschätzung für den Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitsbereich ist derzeit nicht möglich.

Ganz unwissend sind wir jedoch nicht. Abgesehen von der wachsenden Anzahl toxikologischer Studien gibt es bereits viele Erkenntnisse zur Feinstaubproblematik, zur Wasseranalytik und zur Kolloidchemie, aus denen Rückschlüsse möglich sind. Eines ist jedoch auch durch einschlägige Untersuchungen dokumentiert: Gewisse Nanopartikel können Gesundheits- und Umweltschäden verursachen. Weitestgehend unbekannt sind die Risiken von Nanoprodukten am Ende ihres Lebensweges, etwa ihr Verhalten in Kläranlagen, bei der Müllverbrennung oder bei Recyclingprozessen.

**Wie verhalten sich synthetische Nanopartikel ...**

Synthetische Nanopartikel sind teilweise hochreaktiv und können über unterschiedliche Wege in Wasser, Boden und Luft gelangen. Sie haben auch zum Teil die Fähigkeit, nach ihrer Freisetzung Schadstoffe zu mobilisieren. Außerdem weiß man nichts über ihr langfristiges Verhalten in der Umwelt.

**... in der Luft**

Luftverschmutzung wie ultrafeine Stäube (z.B. synthetisch hergestellte ungebundene Nanopartikel) stellen eine potenzielle Gesundheitsgefahr dar.

**... in der Kläranlage**

Einerseits werden Nanopartikel durch Kläranlagen nur zum Teil aus dem Abwasser entfernt und könnten in Böden und Gewässer gelangen. Andererseits ist der Einsatz von Nanopartikeln zur Reinigung von Abwässern (z.B. von Arzneimitteln) denkbar.

**... in Gewässern**

Synthetische Nanopartikel in Seen und Grundwasser neigen dazu, sich mit anderen Teilchen (z.B. Giftstoffen) zusammenzuballen. Wie Nanopartikel auf Fische und Kleinstlebewesen in Gewässern wirken, ist noch nicht klar.

**... und beim Menschen**

Nanopartikel können über die Atmung in die Lunge und über den Verdauungstrakt in den Blutkreislauf und von da in alle Organe gelangen. Wie sie dort wirken, muss jedoch für jeden Stoff einzeln erforscht werden. Ob eine Aufnahme über die Haut erfolgen kann, ist umstritten und je nach Material unterschiedlich. Gewisse Nanopartikel können unter bestimmten Umständen die Blut-Hirn-Schranke überwinden. Einige Nanopartikel durchdringen die Zellmembrane und können so in den Zellkern gelangen.

**Nutzen und Risiko für Verbraucher / Umwelt****Lebensmittel**

Lebensmittel sind eindeutig der sensibelste Nano-Einsatzbereich. Während in anderen Bereichen der Begriff „Nano“ durchaus positiv besetzt ist, wird er hier von Verbrauchern äußerst kritisch bis ablehnend gesehen. Das weiß auch die Lebensmittelindustrie. Die von Verbrauchern geforderte Transparenz wird aber nur sehr zögerlich umgesetzt. Ausnahme sind Nahrungsergänzungsmittel, die häufig mit „Nano“ beworben werden. Nanomaterialien für Lebensmittel müssen zukünftig nach umfangreichen Prüfungen zugelassen und dann gekennzeichnet werden.

Folgende nanoskalige Substanzen sind bereits als Zusatzstoffe im Einsatz:

- Amorphe Kieselsäure (Siliciumdioxid, E551) z.B. in Speisesalzen zur Verbesserung der Rieselfähigkeit und in Ketchup zur Verringerung der Haftfähigkeit.
- Carotinoide (E160a) in Limonaden od. Margarinen zur Orangefärbung und längeren Frischhaltung.
- Mizellen (Nanokapsel), die beispielsweise Vitamine, Mineralstoffe oder Aromen umhüllen.
- Lycopin, synthetisches Lycopin, wird als Antioxidationsmittel in Lebensmitteln eingesetzt.

ABER: Anhand der E-Nummern auf der Verpackung kann nicht erkannt werden, ob Partikel in Nanogröße eingesetzt wurden oder nicht.

Der Großteil der in den Medien beschriebenen nanotechnologischen Anwendungen im Bereich der Lebensmittel ist noch im Entwicklungsstadium. Es werden Lebensmittel entwickelt, die je nach Bedarf ihre Farbe, ihr Aroma oder ihren Nährwert verändern. Nestlé hält beispielsweise ein Patent an einem Verfahren für Tiefkühlprodukte, die dank Nanoteilchen in der Mikrowelle gleichmäßiger auftauen.

### **Verpackungen**

Nanomaterialien sollen Verpackungen reißfester, schlagfester und UV-beständiger machen. Das Hauptaugenmerk liegt jedoch auf der Verlängerung der Haltbarkeit von Produkten, indem sie den Inhalt der Verpackung vor Mikroben oder UV-Strahlung schützen oder verhindern, dass Wasserdampf oder Sauerstoff eindringen können. Die Beschichtungen bestehen aus mineralischen oder metallischen Nanopartikeln, die außen, innen oder zwischen zwei Verpackungsschichten angebracht werden. Bei Innenbeschichtungen besteht die Gefahr, dass Nanopartikel in die Nahrungsmittel gelangen. Ein großer Trend liegt im Bereich von antibakteriell wirkenden Verpackungen mit Nano-Silberbeschichtung, Nano-Zinkoxid oder Nano-Titandioxid. Bei der antibakteriellen Beschichtung ist ein Übergang der Nanopartikel auf die Lebensmittel jedoch gewollt, um einen konservierenden Effekt zu erzielen. Welche gesundheitlichen Risiken dies birgt, ist ungewiss. Nano-Verpackungen sind für Verbraucher nicht erkennbar.

In Entwicklung befinden sich darüber hinaus auch Kunststoffe, die gezielt Zusatzstoffe, wie etwa Geruchs- oder Geschmacksstoffe, an die Lebensmittel abgeben sollen, und „intelligente“ Verpackungen mit Nano-Sensoren. Sie sollen Verderb, Bakterien oder Nährstoffverluste aufspüren, indem sie z.B. durch Farbumschlag die Unterbrechung der Kühlkette anzeigen. Solche Produkte sind bisher noch nicht auf dem Markt, geben aber einen Hinweis auf zukünftige Entwicklungen.

### **Sonnencremes**

Titandioxid, ein mineralischer UV-Filter, ist in der Nanoform transparent, so dass sich auf der Haut kein weißer Film bildet und die Sonnencreme sich besser verteilen lässt. Nach heutigem Forschungsstand dringt Nano-Titandioxid nicht durch die gesunde Haut, ob sie durch verletzte Haut in den Körper gelangen kann, ist allerdings umstritten.

### **Dekorative Kosmetik und Anti-Aging-Produkte**

z.B.:

- Titandioxid in Anti-Aging-Kosmetika
- Nano-Gold und -Silber in bestimmten Hautcremes
- Nanopartikel aus Vulkanasche für Wimperntusche
- Keramik-Nanopartikel für Nagellacke
- Mizellen und Nanosome, die Wirkstoffe in tiefere Hautschichten transportieren sollen
- Fullerene als Radikalfänger zur Verhinderung von Faltenbildung

### **Zahncremes**

In speziellen Zahncremes für sensible Zahnhälse wird Apatit (nanoskaliges Calciumphosphat) verwendet. Dieses erzeugt eine dem natürlichen Zahnmaterial ähnelnde dünne Schicht und soll so die Schmerzempfindlichkeit reduzieren.

Zahncremes mit diesem Wirkstoff sind unter den Marken Theramed, Vademecum, Biorepair und Licor del Polo in verschiedenen europäischen Ländern auf dem Markt.

### **Haushalt**

In Haushalts- und Küchenartikeln, wie Kühlschränken, Pfannen, Frischhalteboxen, Reinigungsmitteln, Frischhaltefolien, etc., können Nanomaterialien enthalten sein, die direkt als antibakterieller Wirkstoff fungieren. Neben den bestehenden Risiken antibakteriell ausgerüsteter Haushaltsprodukte ist laut dem Bundesinstitut für Risikoforschung in Deutschland nicht einmal gesichert, dass antimikrobielle Substanzen etwa in Kühlschrankwänden überhaupt eine effektive desinfizierende Wirkung entfalten.

**Textilien**

Nanomaterialien bieten den Herstellern neue Möglichkeiten, den Textilien bestimmte Eigenschaften zu verleihen:

- Nano-Siliziumdioxid und Nano-Fluorcarbone für schmutzabweisende Textilien.
- Nano-Cyclodextrine und Nano-Silber zur Bindung unangenehmer Gerüche.
- Nano-Silber für die antibakterielle Wirkung (Desinfektion).
- Nano-Titandioxid und Nano-Zinkoxid für UV-Schutzkleidung.
- Wasserabweisende Nano-Oberflächen.
- Textilien mit Schadstoffreinigern: Organische Schadstoffe werden durch katalytische Effekte von Nano-Titandioxid unter Lichteinfluss zersetzt.
- Leitfähigkeit und magnetische Eigenschaften: Nano-Eisen und Nano-Eisenoxid zur Wärmung von Outdoorbekleidung.
- Hochfeste oder halbleiterartige Fasern (Nanotubes).

Wie wissen nun Verbraucher, welche Textilien Nanomaterialien enthalten und welche nicht? Leider gar nicht, denn manche Hersteller weisen ihr Produkt als Nanoprodukt aus, andere wiederum nicht. Und wieder andere schreiben „Nano“ drauf, obwohl es gar nicht drin ist, weil sie sich einen Marktvorteil dadurch erhoffen.

**Titandioxid (TiO<sub>2</sub>)**

Die gesundheitlichen Risiken und Umweltwirkungen von Nano-Titandioxid sind umstritten. Die Internationale Krebsforschungsagentur hat TiO<sub>2</sub> im Falle der Aufnahme in den Körper durch Einatmung als für den Menschen möglicherweise krebserregend eingestuft, und zwar unabhängig von der Partikelgröße. Wird Nano-Titandioxid in Kosmetika eingesetzt, liegt es entweder als Dispersion oder Suspension vor, und ist dann nicht lungengängig. Es stellt sich aber die Frage nach der Aufnahme über die Haut, insbesondere der geschädigten, und was dann im Körper damit passiert. Darüber ist ein Wissenschaftsstreit im Gange, der noch nicht endgültig entschieden ist. Bis dato läuft TiO<sub>2</sub> innerhalb der EU als gesundheitlich unbedenklich. Die Europäische Kommission fordert jedoch weitere Daten zum Verhalten von Nano-TiO<sub>2</sub> auf verletzter Haut und droht mit Entzug der Zulassung von Titandioxid für Kosmetika.

**Silber**

Der Einsatz mag im medizinischen Bereich gerechtfertigt sein, im Haushalt ist er jedoch nicht notwendig und sollte in Anbetracht der Risiken unterlassen werden.

Silber aus Textilien, Putzschwämmen oder anderen Produkten gelangt ins Wasser. Auch wenn zurzeit im gesamten Silberabwasserstrom Nano-Silber nur einen geringen Teil ausmacht, ist durch den steigenden Anteil dieser Produktpalette mit relevanten Anteilen im Abwasser zu rechnen. Gelangt Silber ins Wasser, kann es in der Umwelt eine Vielzahl von Wechselwirkungen eingehen. Über die Mobilität und das Verhalten von Nano-Silber liegen noch keine gesicherten Erkenntnisse vor. Da es aber antimikrobiell wirkt, ist zu erwarten, dass es sich auf die Mikroorganismen in Gewässern auswirkt. Und über die Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft kann Silber auch auf Ackerböden gelangen und dort auf Bodenorganismen wirken.

**Carbon-Nanotubes (CNT)**

Nanotubes werden bereits in zahlreichen Industrieprodukten eingesetzt:

- Sie machen Elektroden von Laptop-Akkus leistungsfähiger.
  - Sie machen Fahrradrahmen oder Tennisschläger bei gleichem Gewicht stabiler.
  - In der Autoindustrie werden sie den Kunststoffen von Benzinleitungen zugesetzt, da sie Kunststoff elektrisch leitfähig machen. Eine elektrostatische Aufladung findet nicht mehr statt, also auch kein Funkenflug.
  - Sie werden in der Display-Herstellung eingesetzt.
  - Sie werden zu Membranen verarbeitet, um als Filter in der Wasserreinigungstechnik eingesetzt zu werden.
- Es gibt Untersuchungen dazu, dass Nanotubes, wenn sie eingeatmet werden, wie Asbest wirken und eventuell Lungenkrebs auslösen können. Unter dem Gesichtspunkt des Arbeitsschutzes ist der Kontakt mit Nanotubes kritisch zu sehen. Die physikalisch chemischen Eigenschaften von Nanotubes legen eine Anreicherung entlang der Nahrungskette und eine lange Lebensdauer nahe.

**Informationsblatt 17: Wirtschaft****Textquelle:**

Daten und Fakten vom Verband der Chemischen Industrie (VCI) – *Nanomaterialien-Vielfältige Eigenschaften und zahlreiche Anwendungen* vom 30.11.2010 (gekürzt)

<http://www.vci.de/default~cmd~shd~docnr~125659~lastDokNr~125378.htm>

Anwendungen für Nanomaterialien finden sich in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens. Sie eröffnen vielfältige Möglichkeiten für neuartige Produkte und Verfahren in fast allen Industriebranchen: Energie- und Umwelttechnik, Automobilindustrie, Medizintechnik, Optik, Bauindustrie sowie bei konsumnahen Produkten wie etwa bei Lacken und Farben, in der Kosmetik oder bei Arzneimitteln. [...]

*Deutschland gehört in der Nanotechnologie zur Weltspitze und ist in Europa führend:*

- Rund 800 Unternehmen sind in Deutschland in der Nanotechnologie tätig. Davon sind mehr als 80 Prozent klein- und mittelständige Unternehmen. Etwa 70 Prozent der Nano-Unternehmen sind nach 1985 gegründet worden.
- Deutschland gehört neben den USA, Japan und Südkorea zu den in der Nanotechnologie weltweit führenden Ländern, die ihren Spitzenplatz sowohl in der Forschung als auch in der industriellen Umsetzung weiter ausbauen.
- Jedes zehnte der weltweit angemeldeten Patente auf dem Gebiet der Nanotechnologie stammt aus Deutschland. Nur die USA und Japan melden mehr Patente an.
- Dem Bund und den Ländern ist die Nanotechnologie wichtig: Der Staat fördert sie gegenwärtig (2010) mit rund 440 Millionen Euro pro Jahr.
- Die deutsche Wissenschaft und die deutsche Industrie beteiligen sich stark und überdurchschnittlich erfolgreich an den Nanotechnologieprojekten des EU-Forschungsrahmenprogramms: Rund ein Viertel der Fördermittel geht an deutsche Unternehmen.
- Bei der staatlich geförderten Sicherheitsforschung liegt Deutschland weltweit an der Spitze: 6,2 Prozent der Mittel des Bundes für Nanotechnologieforschung entfallen auf die Sicherheitsforschung.

*Nanotechnologie für die Chemie im Branchenvergleich am wichtigsten:*

- Nach Schätzungen des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) arbeiten in der Wirtschaft rund 60.000 Beschäftigte an nanotechnologischen Themen (Tendenz stark steigend).
- Jeder dritte Beschäftigte der mit Nanotechnologie befassten Industrieunternehmen arbeitet in der Chemie. Die Nanotechnologie hat für die Chemie im Vergleich aller Industriebranchen Deutschlands mit Abstand die höchste Bedeutung.
- Eine Reihe deutscher Chemieunternehmen zählen zu den weltweiten führenden Firmen auf dem Gebiet der Nanomaterialien.

**Textquelle:**

Nanotechnologie aktuell, Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWW), April 2009

<http://www.institut-wv.de/5684.html>

Die erfolgreiche Umsetzung nanotechnologischer Erkenntnisse in Zukunftsmärkte ist neben dem starken Engagement von Politik und Wirtschaft verstärkt auf hoch qualifizierten Nachwuchs angewiesen. Analysen zur Perspektive naturwissenschaftlicher und technischer Hochschulabsolventen zeigen, dass das Studium in der überwältigenden Mehrheit der Fälle zu einem schnellen Übergang in eine berufliche Tätigkeit führt. Nanotechnologie lässt gute Berufsaussichten für diejenigen erwarten, die sich schon heute den Herausforderungen von morgen stellen. Es ist davon auszugehen, dass ein Studium der Nanotechnologie derzeit gute Chancen auf zukunftssichere Jobs und aussichtsreiche Hightech-Karrieren in fast allen Technologiefeldern und Wirtschaftsbranchen bietet. Dazu gehören Informations-/Kommunikationstechnologien, Automobil- und Maschinenbau ebenso wie Medizin, Chemie und Pharmazie.

**Textquelle:**

Pressemitteilung des Verbands der Chemischen Industrie (VCI) vom 2. Feb. 2011 (gekürzt)

<http://www.vci.de/default2~rub~809~tma~0~cmd~shd~docnr~128589~nd~ond~nano.htm>

**VCI zum Abschlussbericht der Nanokommission der Bundesregierung**

Deutschlands Spitzenplatz in der Nanotechnik erhalten

Die chemische Industrie sieht im NanoDialog der Bundesregierung einen maßgeblichen Beitrag für eine Sachdiskussion über die Nanotechnologie in Deutschland. [...]

„Neue Technologien sollten wir als Chance begreifen“, sagte Romanowski weiter. Deutschland zählt in der Nanotechnologie zur weltweiten Spitzengruppe. Diese Position gelte es zu erhalten. Damit neue Technologien gesellschaftlich akzeptiert würden, müsse die Gesellschaft überzeugt sein, dass sie einen Nutzen durch neue Produkte und Verfahren habe und dass Risiken minimiert würden. Deshalb begrüße die deutsche Chemie die Empfehlung der Nanokommission, mehr Transparenz über die Ergebnisse der Sicherheitsforschung zu schaffen und beispielsweise eine zentrale Internetseite zu den Nano-Aktivitäten der Bundesregierung und ihrer Ressorts einzurichten. In diesem Zusammenhang hob Romanowski hervor, dass die deutsche Chemie eigene umfangreiche Sicherheitsforschung betreibe, sich an deutschen und europäischen Forschungsprojekten beteilige und in enger Abstimmung mit nationalen und europäischen Behörden an einer sachgerechten Anwendung und – wenn notwendig – an einer erforderlichen Präzisierung bestehender Vorschriften für Nanomaterialien mitarbeite.

Die Forderung von Behörden und Umweltverbänden nach Einführung eines „Nano“-Produktregisters und einer Kennzeichnung lehnt der VCI jedoch ab. „Ein solches Register führt nur zu unnötiger Doppelregulierung und erheblichen Überschneidungen mit bestehenden Informations- und Kennzeichnungspflichten“, warnte Romanowski. Schließlich gebe es bereits Datenbanken für gefährliche Stoffe bei der europäischen Chemikalienagentur ECHA sowie Produktregister für Kosmetik, Biozide und im Lebensmittelbereich. Außerdem würde der Verbraucher die Kennzeichnung von „Nano“-Produkten als Warnhinweis verstehen, obwohl die so genannte Nanoskaligkeit als solche keine gefährliche Eigenschaft sei. Diese Pläne könnten die Entwicklung der Nanotechnologie in Deutschland erheblich beeinträchtigen.

**Textquelle:**

Nanotechnologie aktuell, Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWW), April 2009

<http://www.institut-wv.de/5684.html>

**Carbon Nanotubes (CNT) eröffnen neue Dimensionen in der Werkstoff-technologie**

Für die Werkstofftechnologie haben derzeit ganz bestimmte Nanostrukturen – die so genannten Carbon Nanotubes (CNTs) – eine besonders hohe Relevanz. Die Gründe dafür liegen in den einzigartigen Materialeigenschaften, mit denen sich völlig neue Werkstoffe mit revolutionären Qualitäten entwickeln lassen. Um dieses Potenzial für die Werkstofftechnologie gezielt nutzbar zu machen, werden in Deutschland bis zum Jahre 2015 insgesamt 280 Mio. € investiert.

**CNT-ANWENDUNGEN:****(A) ENERGIE & UMWELT:**

Es fokussieren sich folgende Projekte der Initiative auf das Gebiet Energie & Umwelt und entwickeln praktische Anwendungen für die Energiewandlung, Energiespeicherung und Energieeinsparung:

- Entwicklung von modernsten Solarzellen (mit verbesserter Leitfähigkeit und höherer mechanischen Beständigkeit).
- Verbesserungen der Brennstoffzellentechnologie
- neuartige Lithium-Ionen-Batterien
- sichere Trinkwasserversorgung in weiten Teilen der Erde (neuartige Membran mit CNTs zur Meerwasserentsalzung)

**(B) MOBILITÄT:**

Werkstoffe auf CNT-Basis sind wesentlich leichter und erreichen gleichzeitig eine sehr hohe Stabilität. Solche neuen Faserverbundwerkstoffe für Kraftfahrzeuge, Luft- und Raumfahrt ermöglichen im Transportsektor erhebliche Fortschritte bei Energieeffizienz, Umwelt- und Klimafreundlichkeit.

**(C) LEICHTBAU:**

- neue hochfeste CNT-Partikelschäume (z.B. für kugelsichere Schutzwesten)
- Kunststoffteile für den Baubereich
- Leichtmetalle mit CNTs zur Festigkeitssteigerung
- Ultrahochleistungsbeton mit CNTs zur Erhöhung von Stabilität und Elastizität

**(D) SICHERHEIT & QUALITÄT:**

Es müssen aber auch Fragen beantwortet werden, die mögliche Auswirkungen von CNTs auf die Gesundheit der Menschen und auf die Umwelt berücksichtigen. Dazu müssen mögliche Risiken von CNTs bewertet und angemessen kommuniziert werden. Voraussetzung für die Risikobewertung und -kommunikation sind ein möglichst fundiertes Wissen über Ausgangslage und Toxizität sowie die Entwicklung entsprechender Testmethoden.

In einem ersten Schritt werden dazu Messtechnologien entwickelt, mit denen die Freisetzungsraten von Nanopartikeln im Lebenszyklus der CNT-Produkte innerhalb der Anwendungsfelder eindeutig nachgewiesen werden können. CarboSafe baut hierzu auf Wissen auf, welches in beiden BMBF-Projekten TRACER und NANOCARE erarbeitet wurde. Alle Inno.CNT-Partner sind sich darin einig, dass das Vertrauen in kommende CNT- Anwendungen von der Sicherheit und der gesundheitlichen Unbedenklichkeit der Endprodukte abhängt. Deshalb setzt Inno.CNT auf einen offenen, transparenten und kontinuierlichen Dialog mit der Öffentlichkeit.

**Textquelle:**

Position des Verbands der Chemischen Industrie (VCI) - Produktverantwortung bei Nanomaterialien vom 18.3.2010

<http://www.vci.de/default~cmd~shd~docnr~125378~lastDokNr~126234.htm> (Stand: 4.2.2011)

**So sieht Produktverantwortung konkret bei Nanomaterialien aus**

Der VCI hat mittlerweile neun Leitfäden/Empfehlungen zum verantwortungsvollen Umgang mit Nanomaterialien herausgegeben und seinen Mitgliedsfirmen zur Umsetzung empfohlen: Y verantwortliche Herstellung und Verwendung von Nanomaterialien

- Sammlung von Gefährdungsinformationen zur Risikobeurteilung von Nanomaterialien
- Informationsweitergabe in der Lieferkette beim Umgang mit Nanomaterialien
- ein gemeinsamer Leitfaden vom VCI und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und -medizin
- Leitfaden zur sicheren Entsorgung von Abfällen, die Nanomaterialien enthalten.
- Normung von Nanomaterialien
- Sicherheitsforschung zu toxikologischen Aspekten
- Sicherheitsforschung zu ökotoxikologischen und ökologischen Aspekten

Weltweit führen Chemieunternehmen zahlreiche Untersuchungen zur Sicherheit von Nanomaterialien durch, oft in Zusammenarbeit mit staatlichen Stellen in öffentlich geförderten Forschungsprojekten.

*Deutschland*

„NanoCare“ beschäftigte sich mit der Analytik, toxikologischen Fragen und der Weiterentwicklung von Methoden zur Materialcharakterisierung und Sicherheitsbewertung von Nanomaterialien. Das Projekt wurde vom Bundesforschungsministerium (BMBF) gefördert; zahlreiche deutsche Chemieunternehmen und Wissenschaftseinrichtungen waren beteiligt.

Das Projekt „TRACER“ legte einen Schwerpunkt auf die Risikobewertung von Kohlenstoff-Nanoröhrchen.

Das BMBF Programm „NanoNature“ befasst sich mit ökotoxikologischen und ökologischen Themen.

Die Technische Universität Dresden hat im Auftrag der Lackindustrie Methoden ausgearbeitet, mit denen man die Emission von Nanopartikeln messen kann, die bei der Bearbeitung und Beanspruchung von Lacken entstehen.

*OECD (engl. Organisation for Economic Co-operation and Development: Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung):*

In ihrem Chemieprogramm überprüft die OECD die geltenden Strategien zur Risikobewertung von Nanomaterialien. Sie hat im Jahr 2008 ein Programm zur Sicherheitsbewertung von Nanomaterialien gestartet, an dem alle OECD-Mitgliedstaaten, die EU-Kommission und die chemische Industrie mitarbeiten.

Im Rahmen des OECD-Programms wird eine umfangreiche Liste toxikologischer und ökotoxikologischer Parameter für „repräsentative“ Materialien untersucht. Die Materialien sind so ausgewählt, dass sie die derzeit in größerem Umfang hergestellten Nanomaterialien umfassen – in erster Linie Metalloxide, Silber und Kohlenstoff-Nanoröhrchen. Grundlage für die Durchführung des OECD-Untersuchungsprogramms sind die geltenden OECD-Prüfrichtlinien für chemische Stoffe, die nach Erkenntnissen der OECD-Experten grundsätzlich auch für Nanomaterialien anwendbar sind. Sollten sich aus den Erkenntnissen des OECD-Untersuchungsprogramms zu Nanomaterialien oder des vom BMBF geförderten Projekts "NanoCare" Hinweise für einen Anpassungsbedarf von Prüfrichtlinien ergeben, wird dies von der OECD in Zusammenarbeit mit dem ISO Technical Committee 229 "Nanotechnologies" weiter bearbeitet.

**Hinweise zu einem möglichen Diskussionsverlauf (Arbeitsblatt 9):**

*Beziehen Sie vor der Debatte Stellung als Interessensgruppe und achten Sie darauf, Ihre gruppentypischen Positionen zu vertreten.*

z.B.

- Wissenschaft-Forschung: Chancen enorm – Risiken kalkulierbar – Forschungsergebnisse von großer Bedeutung
- Wirtschaft-Industrie: weltweiter Markt - große Umsatz- und Gewinnsteigerungen – Zuwachs an sicheren Arbeitsplätzen für hoch qualifizierte Mitarbeiter
- Politik-Behörden: großes Potenzial – Investitionen zur Sicherung des Forschungs- und Wirtschaftsstandorts Deutschland wichtig - Risiken müssen erforscht werden und kalkulierbar bleiben
- Verbraucher- u. Umweltschutz: keine nanoskaligen Produkte in Umlauf bringen, so lange mögliche negative Folgen nicht geklärt sind

**Leitfragen:**

*1) Die Nanotechnologie wird gerne mit Begriffen wie „Technologie des 21. Jahrhunderts“ und „Zukunftstechnologie“ verbunden. Handelt es sich hierbei um reine Science fiction oder existieren bereits Anwendungen, denen man als Verbraucher im Alltag begegnen kann?*

**Politik:**

Die Nanotechnologie hat Einzug in das tägliche Leben der Menschen gehalten. Die Zahl der Nano-Produkte und Anwendungen wird aktuell auf mindestens 800 geschätzt. Bereits heute leistet die Nanotechnologie wichtige Dienste: z.B. bei der Krebstherapie auf Basis von Nanopartikeln, bei der einfachen Trinkwasseraufbereitung durch nanoporöse Filter, in Windkraftanlagen, deren immer größer werdende Rotoren durch Kohlenstoffnanoröhrchen besonders stabil und dennoch sehr leicht gebaut werden können, oder beim Korrosionsschutz durch keramische Nanobeschichtungen, die toxisches Chrom und Nickel ersetzen.

**Wissenschaft:**

Die Anwendung von nanopartikulärem Silber im medizinischen Bereich bringt große Vorteile durch seine breite Wirksamkeit gegen eine Vielzahl von Krankheitserregern. Sogar gegen solche, die gegen moderne Antibiotika bereits resistent sind. Silbernanopartikel als Bestandteil von Wandfarben und Beschichtungen werden in Krankenhäusern, aber auch in Schulen, Büros und in öffentlichen Verkehrsmitteln eingesetzt.

**Verbraucher- und Umweltschutz:**

Nanomaterialien sind in Alltagsprodukten bereits im Einsatz:

z.B. Kieselsäure (Siliciumdioxid, E551) in Speisesalzen zur Verbesserung der Rieselfähigkeit und in Ketchup zur Verringerung der Haftfähigkeit.

Bei Lebensmittelverpackungen kommt z.B. Nano-Titandioxid zur Erhöhung der Haltbarkeit zum Einsatz. Nano-Titandioxid kann auch in Sonnencremes oder Textilien als UV-Schutz enthalten sein.

In speziellen Zahncremes für sensible Zahnhäse wird nanoskaliges Calciumphosphat verwendet und soll so die Schmerzempfindlichkeit reduzieren.



2) Warum wird die Nanotechnologie als zukunftsweisend eingeschätzt? Welche Chancen werden mit ihr verbunden?

**Behörde:**

Die Analysen zeigen, dass der Nanotechnologie-Sektor sich dynamisch entwickelt. Aktuelle Marktprognosen gehen von einer volkswirtschaftlichen Hebelwirkung der Nanotechnologie auf ein Weltmarktvolumen von bis zu 3 Billionen \$ bis zum Jahr 2015 aus. Dies entspricht ca. 15 % der globalen Güterproduktion. Nanotechnologisches Know-how wird mittelfristig einen immensen Einfluss auf die Bereiche Gesundheit, Informations- und Kommunikationstechnik sowie der Energie- und Umwelttechnik ausüben.

**Politik:**

Die Nanotechnologie hat das Potenzial, zu den großen gesellschaftlichen Herausforderungen, wie wir sie in der Hightech-Strategie der Bundesregierung formuliert haben, wichtige technologische Lösungsbeiträge zu liefern. Dazu gehören Gesundheit, Umwelt- und Klimaschutz, die Sicherung der Energieversorgung, umweltfreundliche und energiesparende Mobilität sowie eine nachhaltige Landwirtschaft.

**Wissenschaft:**

Neuartige Werkstoffe auf Nano-Basis verleihen Materialien oft ganz neue Eigenschaften. Zur Verdeutlichung hier einige Anwendungsmöglichkeiten aus 3 verschiedenen Technologiefeldern:

*Mobilität:*

Sicherheit, Komfort sowie der Bereich Umweltschutz, Treibstoffverbrauch und Materialverschleiß sind die großen Anwendungsgebiete für Nanotechnologie im Auto:

- a) Verringerung des Kraftstoffverbrauchs z.B. durch gewichtssparende Materialien
- b) Umweltschutz durch effizientere Katalysatoren ohne Schwermetalle
- c) Spiegel / Scheiben, die nicht beschlagen und so die Sicht des Fahrers verbessern.
- d) ermüdungsfreie Nanostähle erhöhen die Zuverlässigkeit von Fahrzeugen im Güterverkehr.
- e) »selbstreinigende« Sitze und Lack durch Nanobeschichtung

In den kommenden Jahrzehnten werden Nano-Anwendungen in praktisch alle Fahrzeugkomponentenvordringen.

*Computer:*

CNTs zur Herstellung flexibler Computerchips, die sich auf einen halben Zentimeter Durchmesser zusammenrollen lassen. CNTs sind durch ihre hervorragenden Eigenschaften (rund 20-mal zugfester als Stahl, Wärmeleitung doppelt so gut wie Diamant, vertragen größere elektrische Stromstärken als Kupferdrähte) dem herkömmlichen Silizium überlegen.

*Medizin:*

Kohlenstoff-Nanoröhren (CNTs) als Bio-Transporter, die das Potenzial haben, pharmazeutische Wirkstoffe gezielt in lebende Zellen einzuschleusen.

**Wirtschaft:**

Die Nanotechnologie stellt einen Zukunftsmarkt dar, der verstärkt auf hoch qualifizierten Nachwuchs angewiesen ist. Für naturwissenschaftliche und technische Hochschulabsolventen ergibt sich ein schneller Übergang in eine berufliche Tätigkeit. Es ist davon auszugehen, dass ein Studium der Nanotechnologie derzeit gute Chancen auf zukunftssichere Jobs und aussichtsreiche Hightech-Karrieren in fast allen Technologiefeldern und Wirtschaftsbranchen bietet. Dazu gehören Informations-/ Kommunikationstechnologien, Automobil- und Maschinenbau ebenso wie Medizin, Chemie und Pharmazie.

3) *Schön und gut. Wie sieht es mit der Kehrseite der Medaille aus? In den vergangenen Jahren wurden vermehrt auch Stimmen laut, die Risiken in der Nutzung der Nanotechnologie sehen. Von welchen Risiken ist hier die Rede?*

**Verbraucher- und Umweltschutz:**

Bei der Betrachtung der Risiken und Chancen der Nanotechnologien ist zwischen frei verfügbaren oder fest eingebundenen Nanopartikeln in Produkten zu unterscheiden. Bei den fest eingebundenen Produkten, wie Lacke, Farben und Beschichtung wird von einem geringeren Risikopotential ausgegangen. Die Risikobetrachtung hat bei frei verfügbaren Nanopartikeln eine besondere Relevanz, da diese vom Verbraucher auf verschiedenen Wegen direkt aufgenommen werden und bei massenhafter Anwendung auch die Umwelt schädigen können.

**Wissenschaft:**

Wissenschaftliche Untersuchungen, bei denen z.B. in Versuchstieren Entzündungsreaktionen in der Lunge nach Einatmen von Kohlenstoff-Nanoröhren nachweisbar waren, beweisen so allein noch keine Gefährdungspotenzial. Denn selbst vom giftigsten Stoff geht keine Gefahr aus, wenn er nicht in ausreichender Menge in den Körper gelangt. Und darin besteht ein Grundproblem der Risikoforscher: Sie wissen nicht, wie viele Nanopartikel aus Produkten heraus- und in den menschlichen Körper hineingelangen. Sie wissen nicht einmal, ob Konsumenten überhaupt in nennenswertem Maß mit ihnen in Kontakt kommen. Wahrscheinlich sind viele der Teilchen in den mit 'Nano' etikettierten Produkten gar keine Nanopartikel. Denn oft verklumpen sie und haben mit mehr als tausend Nanometer Durchmesser keine Chance, ins Blut einzudringen.

**Verbraucher- und Umweltschutz:**

Soweit stimme ich zu, dass über die möglichen Wirkungen synthetischer Nanopartikel auf Lebewesen und Umwelt derzeit noch unzureichende Informationen vorliegen. Eine verlässliche umfassende Risikoabschätzung für den Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitsbereich ist so nicht möglich. Ganz unwissend sind wir jedoch nicht. Abgesehen von der wachsenden Anzahl toxikologischer Studien gibt es bereits viele Erkenntnisse zur Feinstaubproblematik, zur Wasseranalytik und zur Kolloidchemie, aus denen Rückschlüsse möglich sind. Eines ist jedoch auch durch einschlägige Untersuchungen dokumentiert: Gewisse Nanopartikel können Gesundheits- und Umweltschäden verursachen. Konkret: Es gibt Untersuchungen dazu, dass Kohlenstoff-Nanoröhren, wenn sie eingeatmet werden, wie Asbest wirken und eventuell Lungenkrebs auslösen können.

4) Was bedeutet dies nun? Sollten Nanomaterialien als gesundheits- und umweltgefährdend eingestuft werden? Müssen sie gesetzlich verboten werden?

**Behörden – Politik:**

Nein. Generelle gesetzliche Verbote ziehen wir nicht in Betracht. Aber: angesichts des vorläufigen und lückenhaften Wissens über die Wirkungen häufig verwandter Nanomaterialien auf Umwelt und menschliche Gesundheit sieht die Nanokommission deutlichen Handlungsbedarf auf dem Feld der Sicherheitsforschung. Hier müssen durch verstärkte Forschungsförderung Wissenslücken abgebaut, die Aussagekraft von Risikoforschung gestärkt und Methoden der Risikobewertung verbessert werden. Nur so können staatliche Behörden ihrer Verantwortung für Schutz von Mensch und Umwelt beim Umgang mit Nanomaterialien, angefangen beim Arbeitsschutz bis hin zum Verbraucher- und Umweltschutz, gerecht werden.

**Wirtschaft:**

Wir sollten neue Technologien als Chance begreifen. Deutschland zählt in der Nanotechnologie zur weltweiten Spitzengruppe. Diese Position gilt es zu erhalten. Damit neue Technologien gesellschaftlich akzeptiert würden, ist es notwendig, dass mehr Transparenz über die Ergebnisse der Sicherheitsforschung geschaffen wird.

**Verbraucher- und Umweltschutz:**

Völlig richtig. Es bedarf einer aktiven Information der Verbraucher. Wir fordern weiterhin:

Yeine international einheitliche Definition für den Begriff „Nanotechnologie“

YRisiko- und Technikfolgenforschung muss intensiviert werden

YNanomaterialien und -produkten staatlich registrieren und zulassen

YProdukte und Rohstoffe, die Nanomaterialien enthalten, kennzeichnen

Da insbesondere Ergebnisse aus Langzeitstudien noch vollkommen fehlen, müssen die konkreten Anwendungen in verbrauchernahen Produkten so lange eingeschränkt werden, bis wissenschaftlich belegt ist, dass keine nano-spezifischen Wirkungen auf die Gesundheit und die Umwelt entstehen.

**Wirtschaft:**

Die Forderung von Umweltverbänden nach Einführung eines „Nano“-Produktregisters und einer Kennzeichnung lehnen wir ab. Ein solches Register führt nur zu unnötiger Doppelregulierung und erheblichen Überschneidungen mit bestehenden Informations- und Kennzeichnungspflichten. Schließlich gibt es bereits Datenbanken für gefährliche Stoffe bei der europäischen Chemikalienagentur ECHA sowie Produktregister für Kosmetik und im Lebensmittelbereich. Außerdem würde der Verbraucher die Kennzeichnung von „Nano“-Produkten als Warnhinweis verstehen, obwohl die so genannte Nanoskaligkeit als solche keine gefährliche Eigenschaft sei. Diese Pläne könnten die Entwicklung der Nanotechnologie in Deutschland erheblich beeinträchtigen.

**Behörden – Politik:**

Dann hat die Industrie aber auch die Verpflichtung, die von der Nano-Kommission erarbeiteten Prinzipien zu beachten. Dies sind: Transparenz, Risikomanagement, Bereitschaft zum Dialog, Übernahme von Verantwortung. So z.B. Maßnahmen des vorsorgenden Risikomanagements, die die Industrie in eigener Verantwortung durchführt. Das schließt auch im Einzelfall eine Entscheidung ein, bei zu vielen Wissenslücken vorläufig auf eine Anwendung zu verzichten, bis gesicherte Erkenntnisse vorliegen.

Generell gilt: Allgemeine Aussagen, ob Nanomaterialien prinzipiell gefährlich sind oder nicht, lassen sich nicht treffen. Nanomaterialien müssen immer im Einzelfall unter Abwägung des möglichen Nutzens mit den potentiellen Risiken bewertet werden. Umwelt und Gesundheit dürfen auf keinen Fall gefährdet werden.

**5) Wie lautet Ihre Stellungnahme am Ende der Debatte?****Wissenschaft:**

"Nano" ist nicht gleich "Nano". So unterschiedlich Form und Material der Partikel, so verschieden ist auch ihre Wirkung auf den Organismus. Es ist vielfach noch nicht völlig klar, ob die winzigen Partikel Mensch oder Umwelt wirklich gefährlich werden können. Die Risikoforschung hinkt hier hinterher. Deshalb gibt es viel zu tun für Nanotechnologie-Sicherheitsforscher. Die Politik muss umwelt- und gesundheitsbezogene Sicherheitsforschung weiterhin finanziell unterstützen, damit aus den Wissenslücken kein Wissensabgrund wird. Dieser scheint zwischen Nanotechnik-Experten und der Öffentlichkeit schon zu bestehen. Bei einer Umfrage stellte man fest, dass sich Nanotechnologie-Forscher wesentlich stärker um die gesundheitlichen Risiken der Nanotechnologie sorgen als Laien. Etwa ein Drittel der Wissenschaftler gab an, dass sie neue Gesundheitsprobleme durch die Nanotechnologie erwarten - gegenüber den gut 20 Prozent bei den Laien.

Andererseits sind die Chancen, die sich aus Entwicklung und Anwendung der Nanotechnologie ergeben so immens, dass man Nutzen und Risiko immer basiert auf einer wissenschaftlich fundierten Einzelfallbetrachtung gegeneinander abwägen sollte.

**Wirtschaft:**

Anwendungen für Nanomaterialien finden sich in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens. Sie eröffnen vielfältige Möglichkeiten für neuartige Produkte und Verfahren in fast allen Industriebranchen. Es ist ein junger Technologiezweig mit enormem Potenzial.

Deutschland gehört in der Nanotechnologie zur Weltspitze und ist in Europa führend.

Wir sehen die Nanotechnologie als zukunftssträchtigen Wirtschaftsmotor. Bei der staatlich geförderten Sicherheitsforschung liegt Deutschland weltweit an der Spitze. Somit wollen wir einerseits mit nanotechnologischen Produkten auf dem Weltmarkt den Wettbewerbsvorsprung halten, ohne dabei gesundheits- oder umweltgefährdende Aspekte außer Acht zu lassen.

**Behörden – Politik:**

Durch die Zunahme des Verbrauchs an Nanomaterialien werden in Zukunft Arbeitnehmer und Verbraucher häufiger mit Nanomaterialien in Kontakt kommen. Bei luftgetragenen Nanomaterialien, die über die Atemwege aufgenommen werden, dürften am ehesten negative gesundheitliche Effekte zu erwarten sein. Bei fest gebundenen oder suspendierten Nanopartikeln gehen wir derzeit von keiner Gesundheits- oder Umweltgefährdung aus.

Wir warnen deshalb vor generellen Aussagen und plädieren immer für eine Einzelfallbetrachtung.

Mit dem Aktionsplan 2015 stellt sich die Politik den neuen Herausforderungen: durch nachhaltige und sichere Erforschung sollen die Chancen der Nanotechnologie für Deutschland verantwortungsvoll genutzt werden.

**Verbraucher- und Umweltschutz:**

Wie wissen Verbraucher, welche Produkte Nanomaterialien enthalten und welche nicht? Leider gar nicht, denn manche Hersteller weisen ihr Produkt als Nanoprodukt aus, andere wiederum nicht. Und wieder andere schreiben „Nano“ drauf, obwohl es gar nicht drin ist, weil sie sich einen Marktvorteil dadurch erhoffen. Deshalb dürfen Nanomaterialien vor allem für Lebensmittel, Kosmetika und Textilien zukünftig erst nach umfangreichen Sicherheitsprüfungen zugelassen werden und müssen dann entsprechend gekennzeichnet sein.

Grundsätzlich schließen wir uns der Sichtweise an, dass die Nanotechnologie Einsatzmöglichkeiten bietet, die sich im Alltag oder für die Umwelt gewinnbringend nutzen lassen. Verständliche Verbraucherinformationen und –aufklärung sind unverzichtbar.