

KONZEPTUALISIERUNG DES THEMAS „NANO“ FÜR DEN CHEMIEUNTERRICHT

Anhang zur Dissertation

zur Erlangung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Doktorgrades

„Doctor rerum naturalium“

der Georg-August-Universität Göttingen

im Promotionsprogramm Chemie

der Georg-August University School of Science (GAUSS)

vorgelegt von

TIMM WILKE

aus Brüssel

Göttingen, 2016

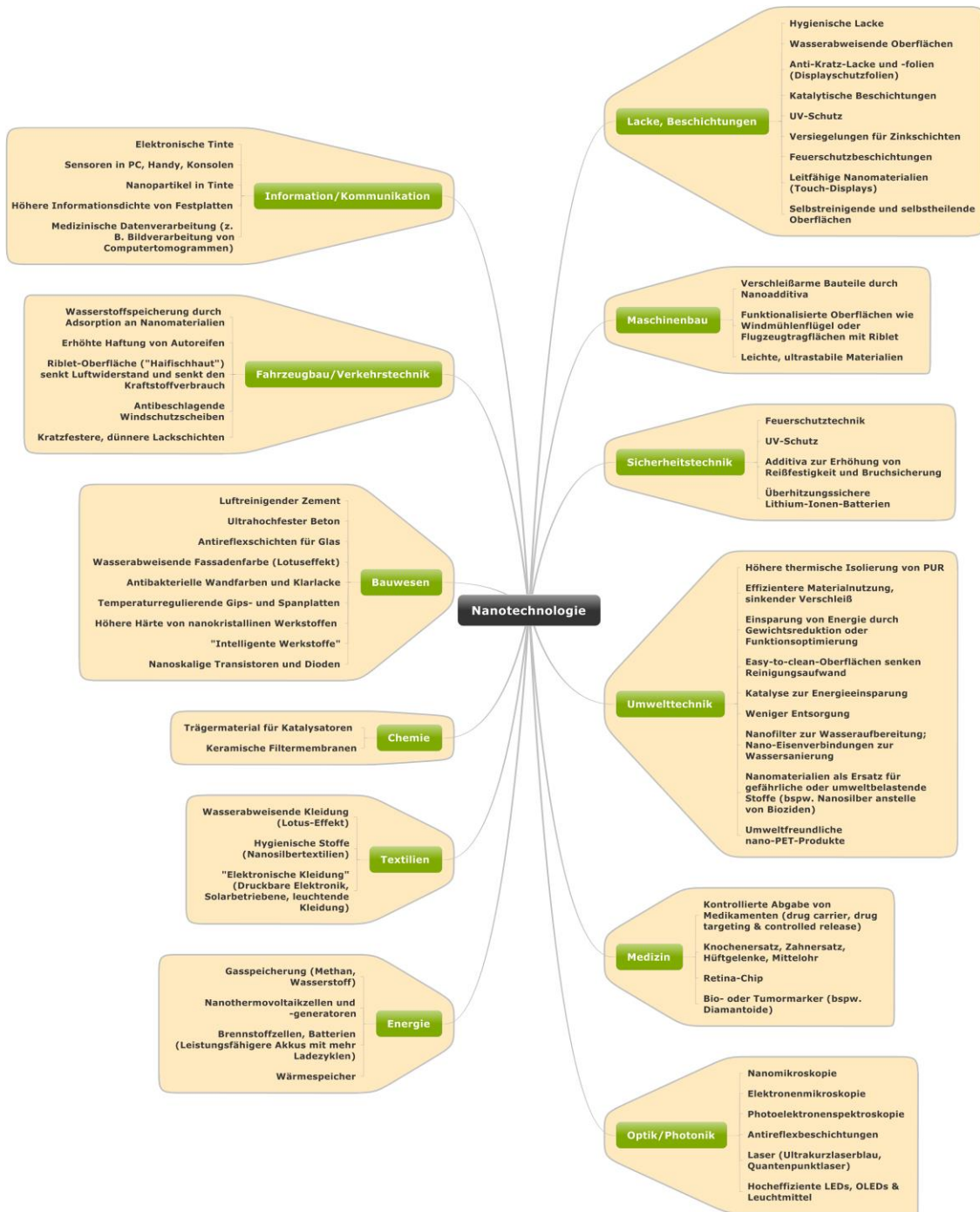
Inhaltsverzeichnis

A1 Kapitel 5 – Klärung der Sachstruktur.....	1
A1.1 Überblick der Anwendungsfelder von Nanotechnologie	1
A2 Kapitel 6 – Erfassen von Lerner und Lehrerperspektiven	2
A2.1 Fragebogen für SuS zum Thema Nanotechnologie.....	2
A2.2 JACK WOLFSKIN – Stellungnahme zum freiwilligen Verzicht auf Nanotechnologie (22.02.2010)	3
A2.3 Fragebogen zu Perspektiven der Lehrkräfte zum Thema „Nano“	4
A3 Kapitel 7 – Didaktische Strukturierung: Konstruktion von Unterricht... 	8
A3.1 Kleine Würfel – große Oberflächen: ein Modellexperiment	8
A3.2 Unterrichtsmaterialien: Der photokatalytische Abbau organischer Substanzen	10
A3.3 Projekt 1: Fragebogen zur Evaluation der Unterrichtseinheit.....	16
A3.4 WebQuest zu Nanomaterialien	18
A3.5 Schülerskript zur Unterrichtseinheit „Nano“	24
A3.6 Projekt 2: Pre-Test zur Unterrichtseinheit.....	72
A3.7 Projekt 2: Post-Test zur Unterrichtseinheit	74
A3.8 Exemplarische Datensätze zum Einsatz im Chemieunterricht	76
A3.9 Arbeitsblatt zur Bestimmung der Halbwertsbreite	79
A3.10 Projekt 3: Fragebogen zur Evaluation der Unterrichtseinheit.....	81
A3.11 Kontroverse um Bisphenol A	83
A3.12 Photokatalytischer Abbau von Acetaldehyd	84
A3.13 Photokatalytischer Abbau von Methylenblau	85
A3.14 Projekt 5: Einführungsseminar im XLAB.....	86
A3.15 WebQuest zu Silber-Nanopartikeln.....	93
A3.16 Arbeitsblatt zum Leidenfrost-Effekt	100
A3.17 Projekt 8: Materialien zum Theorieseminar.....	104
A3.18 Projekt 8: Skript zum Laborpraktikum	111
A3.19 Projekt 8: Fragebogen zur Evaluation von Theorieseminar und Laborpraktikum	124
A3.20 Materialien zur Lehrerfortbildung: „Nano“ – Eine Dimension mit hohem didaktischen Potenzial für den Chemieunterricht.....	126

A3.21	Materialien zur Lehrerfortbildung: Nanochemie und Katalyse – eine Unterrichtseinheit im eA-Kurs Chemie.....	143
A3.22	Lehrerfortbildung: Nanotechnologie in der Schule: Innovative Ansätze für den Chemieunterricht.....	146
A4 Copyright-Agreements der Verlage.....		149
A4.1	Nanoscience Education in School Chemistry: Perspectives for Curricular Innovations in Context of an Education for a Sustainable Development	149
A4.2	Journal of Nano Education	150
A4.3	Praxis der Naturwissenschaften	151
A4.4	Mesoporöse Silica	152
A4.5	Makroporöse Silikone	153
A4.6	Klett MINT-Zirkel	154
A5 Literaturverzeichnis.....		155
A6 Abbildungsverzeichnis.....		157
A7 Tabellenverzeichnis.....		158

A1 Kapitel 5 – Klärung der Sachstruktur

A1.1 Überblick der Anwendungsfelder von Nanotechnologie



A-Abb. 1 – Ungewichtete MindMap als Überblick zu Anwendungsfeldern von Nanotechnologie.

A2 Kapitel 6 – Erfassen von Lerner und Lehrerperspektiven

A2.1 Fragebogen für SuS zum Thema Nanotechnologie

Fragebogen zum Thema Nanotechnologie

„Nano“ ist in aller Munde. Es handelt sich dabei um einen Oberbegriff für die Nanotechnologie und Nanomaterialien, welche in Wissenschaft und Medien einen immer größeren Stellenwert einnehmen.

1. Beschreibe bitte, was du dir unter dem Begriff „Nano“ vorstellst.

2. Wo glaubst du, kommt Nanotechnologie überall vor? Versuche – wenn möglich - Beispiele zu nennen.

3. Welchen Einfluss hat Nanotechnologie auf dein Leben? Inwiefern?

4. Wie bewertest du den Einfluss von Nanotechnologie?

Wie schätzt du deine Kenntnisse im Bereich „Nanotechnologie“ ein?

Viele Einige Kaum Keine

Würdest du gerne mehr über das Thema „Nanotechnologie“ im Unterricht erfahren?

Ja Nein

A2.2 JACK WOLFSKIN – Stellungnahme zum freiwilligen Verzicht auf Nanotechnologie (22.02.2010)

„NANOTECHNOLOGIE: Stellungnahme zum freiwilligen Verzicht auf Nano-Tex Produkte ab der Kollektion Winter 2010

Ab der kommenden Winterkollektion 2010 verzichtet Jack Wolfskin freiwillig auf den Einsatz von Nano-Tex Produkten. Hintergrund ist die anhaltende öffentliche Diskussion über unerforschte Langzeitauswirkungen, die Ende vergangenen Jahres durch die Aktualisierung der Studie 'Nanotechnik für Mensch und Umwelt' durch das Umweltbundesamt veröffentlicht wurde.

In der Studie werden in erster Linie die aus der Nanotechnologie resultierenden Chancen, aber auch die möglichen Risiken aufgezeigt. Die Anwendung von Nanotechnologie auf Textilien wird im Vergleich zu anderen Einsatzbereichen, wie beispielsweise in Kosmetika oder Lebensmitteln, für den Menschen eher unproblematisch bewertet. Größere Risiken werden der Studie zufolge für die Umwelt angenommen, da sich auf der Faser befindliche Nanoteilchen möglicherweise ablösen und durch entsprechendes Waschen in die Umwelt gelangen könnten.

Bei der von Jack Wolfskin eingesetzten Technologie des Herstellers NANO-TEX ist ein Ablösen von Teilchen im Nano-Bereich, abgesehen von dem normalen Faserabrieb wie es bei jeder herkömmlichen Faser der Fall ist, nicht zu erwarten. Die Technologie beruht auf einer molekularen Veränderung der Faserstruktur, die die verbesserten wasser- und schmutzabweisenden Eigenschaften bedingt.

Oberflächlich auf die Faser aufgebrauchte Nanopartikel gibt es bei der von Jack Wolfskin angewandten Technik nicht. Das wurde durch von Jack Wolfskin in Auftrag gegebene Tests beim Prüfinstitut Hohenstein sichergestellt. Somit ist kein Risiko für Mensch oder Umwelt anzunehmen.

Dennoch hat sich Jack Wolfskin dazu entschieden, vorerst vom weiteren Einsatz der Nanotechnologie abzusehen, bis weitere Forschungsergebnisse vorliegen. Die zum Zeitpunkt der Studienveröffentlichung bereits produzierten Nano-Tex Produkte der Kollektion Sommer 2010 sind im Jack Wolfskin Onlineshop mitsamt den dazugehörigen Produktbeschreibungen und weiteren Informationen der Firma NANO-TEX verfügbar.

Die Entscheidung alle bereits produzierten Nano-Tex Produkte ausschließlich online anzubieten beruht darauf, den Kunden auf der Jack Wolfskin Homepage die Möglichkeit zu geben, sich beim Kauf über Nanotechnologie im Allgemeinen (siehe Link zur Studie des Umweltbundesamtes) und über die Unbedenklichkeit der von Jack Wolfskin eingesetzte Technologie im Speziellen (siehe diverse Stellungnahmen seitens der Firma NANO-TEX) zu informieren.“

QUELLE: <http://www.jack-wolfskin.com/de-de/Service/verbraucherinfos.aspx>

A2.3 Fragebogen zu Perspektiven der Lehrkräfte zum Thema „Nano“

Fragebogen zur Behandlung von Nanowissenschaften im Unterricht

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

wir von der Abteilung Fachdidaktik Chemie der Georg-August-Universität Göttingen wollen eine Studie zum Thema Nanowissenschaften im Chemieunterricht durchführen. Das Ziel dieser Untersuchung ist es, diesbezügliche intrinsische und extrinsische Barrieren zu ermitteln. Dafür bitten wir Sie, diesen Fragebogen auszufüllen. Die Auswertung der Daten erfolgt selbstverständlich anonym. Bei Interesse stellen wir Ihnen nach der Auswertung die Daten gerne zur Verfügung.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Geschlecht weiblich männlich

Schulform _____

Geburtsjahr _____

Dienstjahre _____

Fächer _____

Bitte unterstreichen Sie das Fach, welches Sie hauptsächlich unterrichten.

1. Wie hoch schätzen Sie das Interesse Ihrer Schülerinnen und Schüler am naturwissenschaftlichen Unterricht ein?

sehr gering *gering* *mittel* *hoch* *sehr hoch* *Keine Angabe*

2. Wie hoch schätzen Sie das Interesse Ihrer Schülerinnen und Schüler ein, „Nano“ im naturwissenschaftlichen Unterricht zu thematisieren?

sehr gering *gering* *mittel* *hoch* *sehr hoch* *Keine Angabe*

3. Schätzen Sie, wie häufig Aspekte aus dem Themenbereich „Nano“ in Ihrer Schule im naturwissenschaftlichen Unterricht vermittelt werden.

sehr selten *selten* *gelegentlich* *häufig* *sehr häufig* *Keine Angabe*

4. Geben Sie an, wie häufig Aspekte aus dem Themenbereich „Nano“ in Ihrer Schule im naturwissenschaftlichen Unterricht aus Ihrer Sicht vermittelt werden **sollten**.

- sehr selten* *selten* *gelegentlich* *häufig* *sehr häufig* *Keine Angabe*

5. Welche der folgenden Aussagen trifft am ehesten auf Ihren Unterricht zu? In diesem Schuljahr habe ich zum Themenbereich „Nano“ ...

- kaum Aspekte in meinem Unterricht behandelt
 kurze Bezüge an ausgewählten Stellen hergestellt.
 einzelne Unterrichtsstunden gehalten.
 eine Unterrichtseinheit gehalten.
 eine Projektwoche gestaltet.

6. Haben Sie bereits ein Bildungsangebot (FCI Nanokoffer, Nanotruck etc.) aus dem Bereich „Nano“ für Ihren Unterricht genutzt?

- Nein* *Ja, und zwar Folgende(s):* _____

7. Haben Sie bereits Unterrichtsmaterialien mit explizitem Bezug zum Bereich „Nano“ eingesetzt?

- Nein* *Ja*

8 Wenn ja: Welche Unterrichtsmaterialien mit explizitem Bezug zum Bereich „Nano“ haben Sie eingesetzt?

- Kopiervorlage
 Lehrbuch
 Experimentalanleitungen
 Animation / Film
 Lehrbuch
 Onlinematerial
 selbst erstelltes Material
 Sonstiges: _____

9. Wenn ja: Zu welchen Themen haben Sie diese Unterrichtsmaterialien eingesetzt?

10. Wie relevant sind Ihrer Meinung nach folgenden Kompetenzbereiche bei der Vermittlung von „Nano“ im Unterricht?

	<i>irrelevant</i>			<i>sehr relevant</i>	
<i>Fachwissen</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Erkenntnisgewinnung</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Kommunikation</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Bewertung</i>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

11. Schätzen Sie die Qualität der Ausstattung an Ihrer Schule für die unterrichtliche Behandlung von „Nano“ in Bezug auf folgende Punkte ein.

11.a Schülerexperimente

sehr schlecht *schlecht* *mittelmäßig* *gut* *sehr gut* *keine Angabe*

11.b Lehrerexperimente

sehr schlecht *schlecht* *mittelmäßig* *gut* *sehr gut* *keine Angabe*

11.c Medien (z.B. Filme, Lehrbücher, Foliensätze, ...)

sehr schlecht *schlecht* *mittelmäßig* *gut* *sehr gut* *keine Angabe*

12. Finden Sie es notwendig, die Ausstattung Ihrer Schule für Experimente aus dem Themenbereich „Nano“ zu erweitern?

Nein *Ja* *keine Angabe*

13. In welchem der folgenden Unterrichtsfächer würden Sie das Thema „Nano“ am ehesten ansiedeln? (Antwortmöglichkeiten: Biologie, Chemie, Physik).

Biologie *Chemie* *Physik*

14. Wie schätzen Sie Ihre Kenntnisse zur Vermittlung von „Nano“ im Unterricht ein?

keine *geringe* *mittelmäßige* *gute* *sehr gute*

15. Sind Sie an Fortbildungen aus dem Bereich „Nano“ interessiert?

Nein *Ja* *keine Angabe*

16. Wenn ja: Gibt es Themen / Themengebiete, die Sie besonders interessieren?

17. Wünschen Sie sich mehr Anleitungen für Schulexperimente zum Thema „Nano“?

Nein *Ja* *keine Angabe*

18. Wenn ja: Gibt es Themen / Themengebiete, die Sie besonders interessieren?

19. Worin sehen Sie die größte Schwierigkeit, Nano in den Unterricht zu integrieren?

20. Haben Sie Anmerkungen und / oder Kommentare?

A3 Kapitel 7 – Didaktische Strukturierung: Konstruktion von Unterricht

A3.1 Kleine Würfel – große Oberflächen: ein Modellexperiment ¹

Die besonderen Eigenschaften vieler Nanomaterialien beruhen darauf, dass die sie bildenden Teilchen über ein größeres Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis verfügen als nicht-nanoskalige Materialien. Durch diese vergrößerte Oberfläche können Nanoteilchen beispielsweise besonders gut mit anderen Substanzen in ihrer Umgebung wechselwirken und werden daher etwa als Katalysatoren in großtechnischen Prozessen wie der Treibstoffherstellung eingesetzt. Um zu ermitteln, wie groß die Oberfläche eines Körpers wird, wenn man ihn in nanoskalige Teilchen zerkleinert, betrachten wir im Folgenden ein Modellexperiment. Ziel dieses Experiments ist es, mathematisch zu beschreiben, wie sich die Oberfläche eines Würfels durch vielfache Teilung verändert.



A-Abb. 2 – Modellexperiment zur Illustration des Oberfläche-zu-VolumenVerhältnisses.

Vorgehen: Teilen wir einen Würfel mit einer Kantenlänge von $a = 1 \text{ cm}$ in gleich große Teile, so erhalten wir acht neue Würfel, deren Kantenlänge halb so groß ist, wie die des ursprünglichen Würfels. Die sich durch diese Teilung ergebenden Würfel werden folgend ebenfalls geteilt, und zwar so häufig, bis die resultierenden Würfel nanoskalige Kantenlängen erreichen (ca. 100 nm).

Aufgabe 1: Um die Oberfläche A aller durch die Teilungen erzeugte Würfel zu berechnen, kannst Du selbst eine geeignete Formel entwickeln. Ergänze dazu die folgende Tabelle und leite anschließend für die einzelnen Spalten jeweils eine Formel her.

Tipp: Die Formel für die Gesamtoberfläche setzt sich aus der Anzahl und den jeweiligen Oberflächen der Würfel zusammen. Du kannst deine Formel mit dem Ergebnis für $n=12$ überprüfen.

Teilungen	Anzahl der Würfel	Kantenlänge a [cm]	Oberfläche A
0	1	1	6 cm^2

¹ Die Inhalte von Kap. A3.1 wurden vom Autor zusätzlich in der Fachzeitschrift MINT-ZIRKEL ^[1] veröffentlicht. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags (siehe A4) wurden ausgewählte Inhalte und Abbildungen übernommen.

1	8	1/2	12 cm ²
2	64	1/4	24 cm ²
3	512	1/8	48 cm ²
4	4.096	1/16	96 cm ²
5	32.768	1/32	192 cm ²
12	68.719.476.736	1/4.096	24.576 cm ²
n	8n	$a/2^n$	$8^n \cdot 6 \cdot (a/2^n)^2$

Die Lösungen sind grau hinterlegt in der Aufgabe eingetragen.

Aufgabe 2: Berechne ggfs. mithilfe der SOLVE-Funktion deines Taschenrechners oder einem Tabellenkalkulationsprogramm (EXCEL, CALC), wie oft man einen Würfel mit einer Kantenlänge von 1 cm teilen muss, bis er eine Kantenlänge von etwa 5 nm erreicht.

Lösung: Mithilfe der Formel lässt sich ermitteln, dass die Kantenlänge der Würfel nach 21 Teilungen $4,76 \cdot 10^{-9}$ m beträgt, was etwa den gesuchten 5 nm entspricht.

$$1/2^{21} = 4,76 \cdot 10^{-7} \text{ cm} \cong 4,76 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

Aufgabe 3a: Ein Handballfeld ist 40 m lang und 20 m breit – vergleiche dessen Oberfläche mit der des Würfels, wenn dieser 21 Mal geteilt wurde.

Lösung: Mit dem Ergebnis der vorherigen Aufgabe und der Formel für die Gesamtoberfläche lässt sich auch diese Aufgabe leicht lösen. Durch Einsetzen erhält man:

$$8^{21} \cdot 6 \cdot \left(1 \text{ cm}/2^{21}\right)^2 = 12\,582\,912 \text{ cm}^2 \cong 1\,258 \text{ m}^2$$

Im Vergleich zu einem Handballfeld mit einer Oberfläche von $20 \cdot 40 = 800 \text{ m}^2$ besitzt der 21 mal geteilte Würfel demnach mehr als 50 % mehr Oberfläche.

Aufgabe 3b: Wie oft muss man einen Würfel mit einer Kantenlänge von 1 m teilen, bis mindestens die Oberfläche von Luxemburg (ca. 2.600 km²) erreicht wird? Welche Kantenlänge besitzen die Würfel dann?

Lösung: Für die Teilung eines Würfels mit einer Kantenlänge von 1 m wird ebenfalls die Formel für die Gesamtoberfläche verwendet. Elegant lässt sich diese Aufgabe mit einem Tabellenkalkulationsprogramm lösen, doch ist dies keinesfalls Voraussetzung.

Nach 29 Teilungen erhält man über die Formel eine Gesamtoberfläche von 3.221.225.472 m² bzw. 3.221 km². Die Kantenlänge beträgt dabei 1,86 nm.

A3.2 Unterrichtsmaterialien: Der photokatalytische Abbau organischer Substanzen²

Der photokatalytische Abbau organischer Substanzen

Der photokatalytische Abbau von organischen Substanzen erfolgt mit Hilfe eines Photokatalysators... oder durch UV-Licht? Oder beides? Wie genau funktioniert die Photokatalyse denn jetzt? Um dies herauszufinden, stehen Dir eine **UV-Lampe**, **Titandioxid-Nanopartikel** als Photokatalysator und **Methylenblau** als organische Testsubstanz für die Zersetzung zur Verfügung.

Aufgabe 1: Entwickle mit diesen drei Materialien und gängigen Laborutensilien eine Versuchsserie, um die notwendigen Bedingungen für die Photokatalyse zu identifizieren. Erstelle hierzu eine tabellarische Übersicht aller geplanten Teilversuche, die auch zwei vorerst leere Spalten („Beobachtung“ und „Ergebnis“) enthält.

Teilversuch	Inhalt	Beobachtung	Ergebnis
	- Methylenblau		

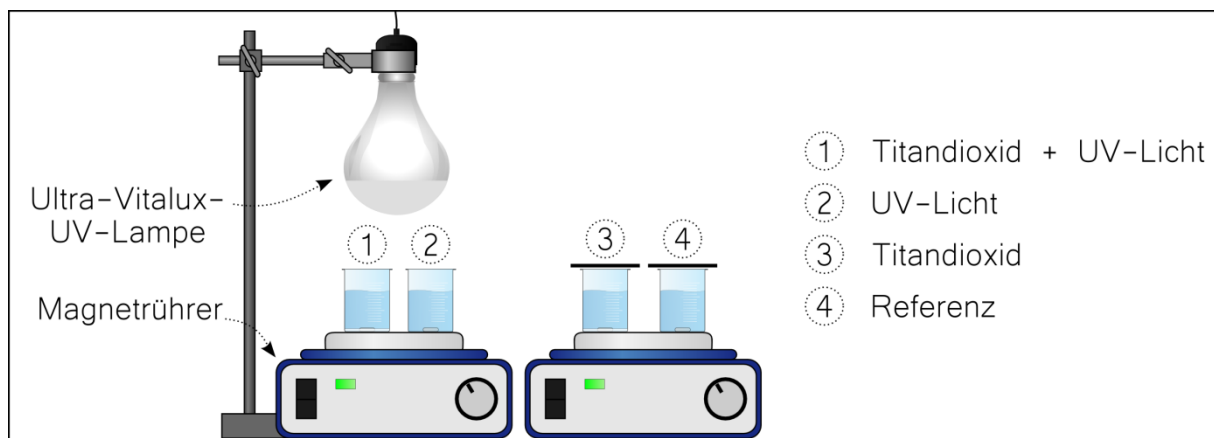
² Die Inhalte von Kap. A2.3 wurden vom Autor zusätzlich in der Fachzeitschrift PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN – CHEMIE IN DER SCHULE^[2] veröffentlicht. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags (siehe A4) wurden ausgewählte Inhalte und Abbildungen übernommen.

Versuch: Photokatalyse mit Titandioxid



Geräte: Ultra-Vitalux-UV-Lampe (300 W) mit Fassung, Magnetrührer, Magnetrührstäbchen, 4 Bechergläser (100 mL), Messpipette, Messzylinder, Stativ, Klemme, Muffe

Chemikalien: Methylenblau (0,2 %, $C_{16}H_{18}ClN_3S$ – GHS07: sensibilisierend, reizend), Titandioxid-Nanopartikel (TiO_2), destilliertes Wasser



A-Abb. 3 – Aufbau des Experiments zur Photokatalyse.

Durchführung:

1. Die Ultra-Vitalux-UV-Lampe wird in die Fassung gedreht und in das Stativ eingespannt. Die Lampe wird direkt über dem Magnetrührer angebracht.
2. In alle Bechergläser (BG) werden 1 mL 0,2 %ige Methylenblaulösung und 50 mL destilliertes Wasser gegeben.
3. In BG 1 und 3 werden 2 g Titandioxid hinzugegeben.
4. In alle BG wird jeweils ein Magnetrührstäbchen gegeben und alle werden auf Magnetrührer gestellt.
5. Die BG 1 und 2 werden für einige Minuten mit UV-Licht bestrahlt, BG 3 und 4 werden hingegen vor der UV-Strahlung geschützt.

Aufgaben

Auswertung

Notiere die Beobachtungen und vergleiche die Ergebnisse dabei mit der ursprünglichen Methylenblaulösung. Notiere anschließend das Ergebnis des entsprechenden Teilversuches. Hat eine Photokatalyse stattgefunden?

Becherglas 1

Beobachtung:

Ergebnis:

Becherglas 1

Beobachtung:

Ergebnis:

Becherglas 3

Beobachtung:

Ergebnis:

Auswertung

Aufgabe 1: Vergleiche die Lösung nach dem entsprechenden Teilversuch mit der ursprünglichen Methylenblaulösung und trage deine Beobachtungen in die Tabelle ein.

Aufgabe 2: Ergänze anschließend das Ergebnis des Teilversuchs - hat eine Photokatalyse stattgefunden?

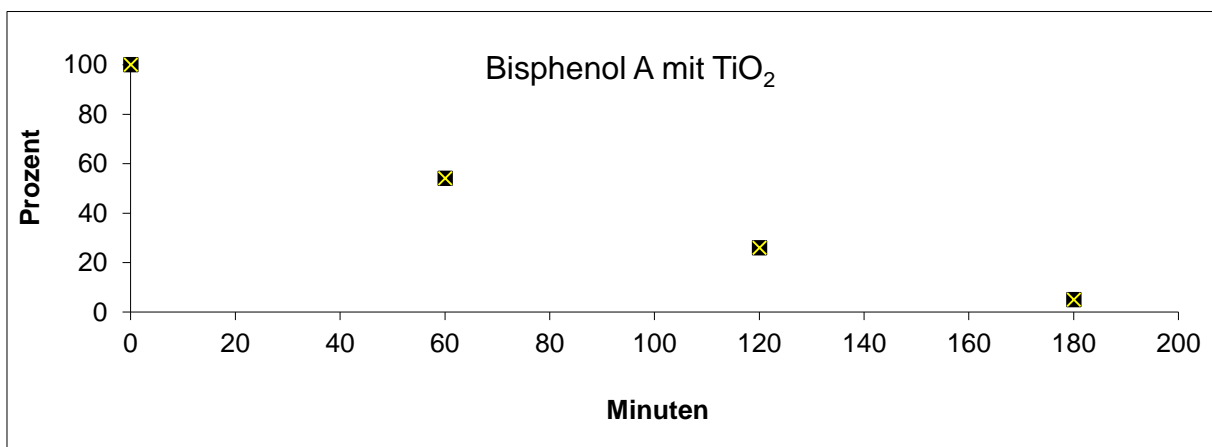
Aufgabe 3: Erläutere, unter welchen Bedingungen eine Photokatalyse stattfindet.

Der photokatalytische Abbau organischer Substanzen

Phänomenologische Auswertung

Im Verlauf der Photokatalyse entstehen Radikale, welche Methylenblau zersetzen, wodurch die Farbigkeit verloren geht. Auch andere Stoffe, wie beispielsweise Acetaldehyd oder Essigsäure, werden im Verlauf der Reaktion vollständig zu Wasser und Kohlenstoffdioxid mineralisiert. Bei Methylenblau laufen ähnliche Prozesse ab und auch dieser Stoff wird, wenn ebenfalls genügend Radikale erzeugt werden, vollständig zersetzt. Anhand der Entfärbung der Lösung kann außerdem der Verlauf des Abbaus verfolgt werden.

In einem weiteren Versuch soll unter denselben Bedingungen anstelle von Methylenblau nun Bisphenol A abgebaut werden, welches vergleichbare Eigenschaften aufweist. Der folgende Graph zeigt die Konzentration von Bisphenol A im Verlauf der Reaktion.

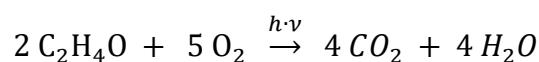


A-Abb. 4 –Diagramm der Konzentration von Bisphenol A zu verschiedenen Messzeitpunkten.

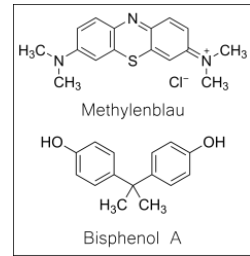
Aufgabe 1: Begründe mit Hilfe des Graphen, ob die Photokatalyse auch eine geeignete Methode für den Abbau von Bisphenol A ist und erläutere, welche Schritte bei der Zersetzung ablaufen.

Auswertung auf Teilchenebene

Im Verlauf der Photokatalyse entstehen Radikale, welche Methylenblau zersetzen, wodurch die Farbigkeit verloren geht. Eine genaue Beschreibung dieser Zersetzungsreaktion wäre sehr komplex und aufwendig. Der Einfachheit halber soll der photokatalytische Abbau daher am simplen Beispiel von Acetaldehyd (C₂H₄O) demonstriert werden. Dieses wird nach einiger Zeit mit Luftsauerstoff vollständig zu Kohlenstoffdioxid und Wasser zersetzt:



Bei Methylenblau laufen ähnliche Prozesse ab und auch dieser Stoff wird, wenn ebenfalls genügend Radikale erzeugt werden, vollständig zu Kohlenstoffdioxid und Wasser abgebaut. Besonders interessant ist, dass die Lösung die Farbigkeit verliert, wenn etwa eine Ringöffnung der Aromaten stattfindet – so kann der Verlauf des Abbaus anhand der Farbe der Lösung verfolgt werden.



Aufgabe 1: Begründe auf der Grundlage der Zersetzung von Methylenblau, ob die Photokatalyse auch eine geeignete Methode für den Abbau von Bisphenol A ist. Vergleiche dazu den Aufbau beider Moleküle.

A3.3 Projekt 1: Fragebogen zur Evaluation der Unterrichtseinheit

Feedback zur „Unterrichtseinheit Nano“

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

ich habe zu Beginn der Einheit gefragt: „Was weißt du bereits über das Thema Nano“? Nun möchte ich in vier kurzen Fragen gerne wissen, was du in der Einheit hierzu erfahren hast.

Lass dir ruhig Zeit, bevor du antwortest. Vielen Dank!

1. Beschreibe bitte in Stichpunkten, was du fachlich gelernt hast. Erläutere, ob und inwiefern die Experimente dir dabei geholfen haben.

2. Erläutere bitte, welche gesellschaftlichen Bezüge hinsichtlich des Einsatzes von Nanomaterialien du kennengelernt hast. Erkläre, ob sie für dich wichtig sind

3. Beschreibe bitte, inwiefern die Unterrichtseinheit dein Interesse an dem Thema „Nano“ beeinflusst hat.

4. Bitte gib an, was dir an der Einheit am besten gefallen hat (und warum)...

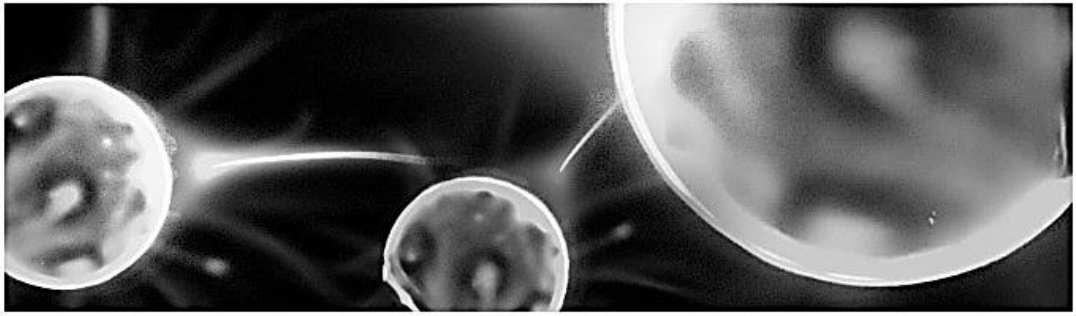
... und was an der Einheit noch verbesserungswürdig ist (und warum).

A3.4 WebQuest zu Nanomaterialien


Nachfolgend sind Screenshots des WebQuests abgebildet. Das WebQuest ist darüber hinaus online unter <http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/wip/nanomaterialien/> frei online zugänglich.

NANO

START AUFGABEN GRUPPE 1 GRUPPE 2 GRUPPE 3 GRUPPE 4



WILLKOMMEN ZUM NANO-WEBQUEST



Kennt ihr Nano? Sicherlich habt ihr in den verschiedensten Produkten, z.B. in der Werbung schon den Begriff gehört, doch die Wenigsten wissen, was in der Wissenschaft damit genau gemeint ist. Es gibt viele Produkte, in denen schon heute sog. Nanomaterialien verwendet werden. Dazu gehören neben Reinigungsmitteln oder Golfbällen auch viele weitere Produkte, die wir täglich benutzen, wie etwa Zahnpasta, Sonnencreme oder Kosmetika.

Neben den großen Vorteilen bieten die Nanowissenschaften als relativ junge Technologie allerdings auch potenzielle Risiken für Mensch, Tier und Umwelt. Aus diesem Grund soll dieses WebQuest den verantwortungsvollen Einsatz von Nanotechnologie fokussieren.

Um zu beginnen, klickt oben in der roten Leiste auf [Aufgabenstellung](#).

Projekt: [Timm Wilke](#) | Design by [FCT](#) | Images by [Fotogroph](#)

A-Abb. 5 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.

NANO

START AUFGABEN GRUPPE 1 GRUPPE 2 GRUPPE 3 GRUPPE 4



AUFGABEN

Jede Gruppe befasst sich mit einem eigenen Anwendungsgebiet von Nanomaterialien aus dem Alltag und bearbeitet entsprechend eigene Fragestellungen. Die Aufgaben für eure Gruppe findet ihr unter dem entsprechenden Link oben in der roten Leiste.

ARBEITSFORM

Gearbeitet wird in derselben Gruppenzusammensetzung wie in den letzten Wochen.

RECHERCHE

Die Expertengruppen bearbeiten unterschiedliche Schwerpunkte zum Thema Nanotechnologie. Zur Recherche sollen (wenn von der Lehrkraft nicht anders angegeben) ausschließlich die zusammengestellten Internetquellen und Literaturangaben in den Linklisten verwendet werden.

PRÄSENTATION

Mit Hilfe der Quellen soll eine Powerpointpräsentation erarbeitet werden, welche folgende Punkte erläutert:

1. die Problemstellung und die Lösungsmöglichkeiten,
2. die relevanten fachlichen Informationen,
3. die erarbeiteten Kriterien und
4. die begründete Entscheidung.

Die Vortragsdauer soll etwa 5, maximal 10 Minuten betragen! Zusätzlich soll von jeder Gruppe ein Handout vorbereitet werden, das die wichtigsten Inhalte des Vortrags zusammenfasst.


Viel Erfolg!

Design by [FCT](#) | Images by [Fotogroph](#)

A-Abb. 6 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.

NANO

START
AUFGABEN
GRUPPE 1
GRUPPE 2
GRUPPE 3
GRUPPE 4



GRUPPE 1 - TITANDIOXID-NANOPARTIKEL

In den Experimenten aus den vergangenen Wochen wurde dargestellt, dass nanoskaliges Titandioxid unter anderem in Sonnencreme und Kosmetika verwendet wird, da es nicht nur UV-Strahlung filtert sondern darüber hinaus auch transparent ist und antibakterielle Eigenschaften aufweist. Problematisch ist allerdings, dass Titandioxid-Nanopartikel *unter einer gewissen Größe* die menschliche Zellmembran passieren und dort ebenfalls mit Hilfe von UV-Licht Radikale erzeugen können - mit potenziell gravierenden Folgen, wie Störungen der Genaktivität und Mutationen. Dennoch wird weiterhin nanoskaliges Titandioxid in nahezu jeder Sonnencreme verwendet, von denen einige sind sogar speziell für Säuglinge ausgeschrieben sind. Als Alternative stehen auch andere, sog. organische Filtersysteme zur Verfügung. Diese dringen allerdings ebenfalls in die Haut ein und verursachen bei einigen Menschen allergische Reaktionen. Zudem zersetzen sie sich nach relativ kurzer Zeit und ein ähnlich hoher Lichtschutzfaktor wie bei mineralischen Filtern (bspw. Titandioxid oder Zinkoxid) kann nicht erreicht werden.

AUFGABEN

1. Gebt schriftlich und in eigenen Worten die Problemstellung und die Lösungsmöglichkeiten wieder. Benenne die verschiedenen Kriterien (bspw. Gesundheit), anhand derer über eine mögliche Lösung entschieden werden kann.
2. Recherchiert anhand der unten angegebenen Links fachliche Hintergründe und Informationen, um die Entscheidungsmöglichkeiten beurteilen zu können. Berücksichtigt dabei möglichst viele verschiedene Blickwinkel.
3. Vergleicht anhand der Rechercheergebnisse eure Entscheidungsmöglichkeiten und entscheidet euch begründet für eine Option.
4. Bereitet eine Präsentation (PowerPoint) vor, welche den anderen Gruppen die folgenden Punkte erläutert:
 - die Problemstellung und die Lösungsmöglichkeiten,
 - die relevanten fachlichen Informationen,
 - die erarbeiteten Kriterien und
 - die begründete Entscheidung.

Die Vortragsdauer soll etwa 5, maximal 10 Minuten betragen! Bereitet zusätzlich ein Handout vor, welches die wichtigsten Inhalte des Vortrags zusammenfasst.

LINKS

http://www.planet-wissen.de/natur_technik/forschungszweige/nanotechnologie/index.jsp

<http://www.nanopartikel.info/cms/Wissensbasis/Titandioxid> (Abschnitt "Eigenschaften und Anwendungen")

<http://www.netdokter.de/Gesund-Leben/Haut/Sonnenschutz/Sonnenschutzmittel-2392.html>

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/maeuse-embryonen-nanopartikel-stoeren-genaktivitaet-a-638825.html>

http://www.bfr.bund.de/de/presseinformation/2006/09/nanotechnologie_einsatz_trends_und_risiken-7720.html

Design by FCI | Images by Fotogroph

A-Abb. 7 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.

NANO

START
AUFGABEN
GRUPPE 1
GRUPPE 2
GRUPPE 3
GRUPPE 4



GRUPPE 2 - SILBER-NANOPARTIKEL

Silber-Nanopartikel gehören aufgrund ihrer antibakteriellen Eigenschaften mit einem Anteil von 30 % (!) zu den meistverwendeten Nanopartikeln in Alltagsprodukten. Entsprechend groß ist auch die Vielfalt der damit behandelten Produkte; wie in der Abbildung zu erkennen ist, reicht diese von Zahnpasta über Deodorants (bspw. Nivea Silver Protect) bis hin zu Nanosilber-Socken, welche unangenehmen Geruch noch nach tagelangem Gebrauch verhindern.



According to: Woodrow Wilson Inventory
Andrea Haase ÖGD 2012

Produkte mit Nanosilber (Auswahl)

- > Zahnpasta
- > Zahnbürsten
- > Shampoo
- > Seifen
- > Desinfektionsspray
- > T- Shirts
- > Unterwäsche
- > Medizinprodukte

Seite 10 

Quelle: Dr. Andrea Haase (2012). Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR)

Silbernanopartikel wird viel in hygienisch sensiblen Domänen verwendet, wie bspw. Krankenhäusern (mit Nanosilber beschichtete Skalpelle, Türklinken, etc.), um dort die Ausbreitung von Krankheiten zu verhindern. Allerdings existieren seit einigen Jahren auch privat erhältliche Produkte, wie "hygienische Wandfarbe", mit Nanosilber beschichtete Kühlschränke oder sogar Waschmaschinen, welche mit jedem Waschgang eine Dosis Nanosilber-Partikel freisetzen. Dieser Einsatz ist allerdings mit Risiken verbunden; neben einer Abwasserbelastung mit teilweise ungeklärten Folgen für Mikroorganismen in Seen oder anderen Ökosystemen führt der vermehrte Einsatz auch zu einer Resistenzbildung von Keimen gegenüber Silber. Diese Bedenken stehen letztendlich einem nachvollziehbaren Hygienebedürfnis im Haushalt gegenüber (Kinderzimmer, Bad, ...), wo ebenfalls Keime übertragen werden können. Wo soll nun die Grenze gezogen werden?

AUFGABEN

1. Gebt schriftlich und in eigenen Worten die Problemstellung und die Lösungsmöglichkeiten wieder. Benennt die verschiedenen Kriterien (bspw. Gesundheit), anhand derer über eine mögliche Lösung entschieden werden kann.
2. Recherchiert anhand der unten angegebenen Links fachliche Hintergründe und Informationen, um die Entscheidungsmöglichkeiten beurteilen zu können. Berücksichtigt dabei möglichst viele verschiedene Blickwinkel.
3. Vergleicht anhand der Rechercheergebnisse eure Entscheidungsmöglichkeiten und entscheidet euch begründet für eine Option.
4. Bereitet eine Präsentation (PowerPoint) vor, welche den anderen Gruppen

- die Problemstellung und die Lösungsmöglichkeiten,
- die relevanten fachlichen Informationen,
- die erarbeiteten Kriterien und
- die begründete Entscheidung erläutert.

Die Vortragsdauer soll etwa 5, maximal 10 Minuten betragen! Bereitet zusätzlich ein Handout vor, welches die wichtigsten Inhalte des Vortrags zusammenfasst.

LINKS

Versuch 1

http://www.planet-wissen.de/natur_technik/forschungszweige/nanotechnologie/index.jsp

<http://www.zeit.de/politik/2009-10/risiken-nanotechnologie/seite-1>

<http://www.nanosilber.de/nanosilber/potential-von-nanosilber/>

<http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-15969-2013-04-18.html>

<http://www.dradio.de/diff/sendungen/forschak/766004/>

<http://www.zentrum-der-gesundheit.de/nanosilber-ia.html>

Design by FCT | Images by Fotograph

A-Abb. 8 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.

NANO

START
AUFGABEN
GRUPPE 1
GRUPPE 2
GRUPPE 3
GRUPPE 4



GRUPPE 3 - CARBON NANOTUBES



Carbon Nanotubes (CNT) sind Kohlenstoffröhren mit Durchmessern von wenigen Nanometern aber Längen von bis zu einigen Millimetern. Sie weisen außergewöhnliche Eigenschaften auf; so erreichen sie bspw. die größte bekannte Wärmeleitfähigkeit oder die 400fache Zugfestigkeit von Stahl bei einem Sechstel von dessen Dichte bei hervorragender chemischer Beständigkeit. Anwendungsgebiete sind u.a. ultraleichte Verbundmaterialien in Fahrrädern, Automobil-, Luft- und Raumfahrt oder Ultrahochleistungsbeton in Hochhäusern und Brücken. *Allerdings ähneln einige CNT aufgrund ihrer Form stark den bekannten Asbest-Fasern* und weisen ähnliche Gefahren für den Menschen auf - namentlich ein erhöhtes Risiko für Lungenkrebs. Dieses Risiko erklärt sich dadurch, dass Makrophagen (Fresszellen) in der Lunge versuchen, die vermeintlich kleinen Nanotubes beginnend bei ihren nanoskaligen Enden zu verdauen. Da diese aber mehrere Millimeter lang sein können, bleiben sie folglich „stecken“ (- im übertragenen Sinne könntest du auch versuchen, einen Lutscher mit der Länge der Golden Gate Bridge zu schlucken). Als Folge werden Immun- bzw. Entzündungsreaktionen ausgelöst, welche im schlechtesten Falle zu Krebs führen können. So stellt sich das Problem, dass zum einen hochleistungsfähige Materialien wie CNT für moderne Projekte in Domänen wie Raum unbedingt benötigt werden. Zudem bieten Ultraleichtmaterialien diverse Erleichterungen für unsere Umwelt durch den geringeren Kraftstoffverbrauch. Einige Projekte mit CNT bieten sogar das Potenzial, Trinkwasser effizient filtern zu können: Millionen Menschen können auf diese Weise effizient und billig Zugang zu Trinkwasser erhalten. Auf der anderen Seite sind gesundheitliche Bedenken einiger Fasern bereits bekannt und die Entdeckung weiterer Gefahrenpotenziale nicht ausgeschlossen. Sollten CNT nun weiter verwendet werden - und wenn ja, unter welchen Bedingungen?

Quelle der Abbildung: Peter Harris, Centre for Advanced Microscopy (2010)

AUFGABEN

1. Gebt schriftlich und in eigenen Worten die Problemstellung und die Lösungsmöglichkeiten wieder. Benennt die verschiedenen Kriterien (bspw. Gesundheit), anhand derer über eine mögliche Lösung entschieden werden kann.
2. Recherchiert anhand der unten angegebenen Links fachliche Hintergründe und Informationen, um die Entscheidungsmöglichkeiten beurteilen zu können. Berücksichtigt dabei möglichst viele verschiedene Blickwinkel.
3. Vergleicht anhand der Rechercheergebnisse eure Entscheidungsmöglichkeiten und entscheidet euch begründet für eine Option.
4. Bereitet eine Präsentation (PowerPoint) vor, welche den anderen Gruppen
 - die Problemstellung und die Lösungsmöglichkeiten,
 - die relevanten fachlichen Informationen,
 - die erarbeiteten Kriterien und
 - die begründete Entscheidung **erläutert**.

Die Vortragsdauer soll etwa 5, maximal 10 Minuten betragen! Bereitet zusätzlich ein Handout vor, welches die wichtigsten Inhalte des Vortrags zusammenfasst.

LINKS

http://www.planet-wissen.de/natur_technik/forschungsweige/nanotechnologie/index.jsp

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/nanoforschung-abgeschnittener-asbest-ist-weniger-schaedlich-a-786937.html>

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/versuche-mit-mauesen-nanoroehren-wirken-aehnlich-wie-asbest-a-554383.html>

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/spider-man-anzug-mit-kuenstlichen-haerchen-an-waenden-haften-a-479549.html>

<http://epub.oew.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier022.pdf>

<http://www.zeit.de/politik/2009-10/risiken-nanotechnologie/seite-1>

Design by ECT | Images by Fotograph

A-Abb. 9 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.

NANO

START
AUFGABEN
GRUPPE 1
GRUPPE 2
GRUPPE 3
GRUPPE 4

4



GRUPPE 4 - SILICA-NANOPARTIKEL

Siliciumdioxid-Nanopartikel finden sich bereits seit Jahren als Riesel- oder Fließhilfe in Nahrungsmitteln, wie etwa Salz, Gewürzen oder Ketchup. Die Verbesserungen werden dabei aufgrund ihrer großen Oberfläche und der hygroskopischen ("wasserziehenden") Eigenschaften erzielt. Indem Feuchtigkeit von den Silica adsorbiert wird, können die Körner nicht verklumpen; Ketchup hingegen wird durch Siliciumdioxid verdickt, zudem werden die Fließigenschaften verbessert.



Salz

Silica

und Ketchup

Allerdings sind die Risikenpotenziale nicht endgültig geklärt; Nanopartikel unter einer gewissen Größe können die Zellmembran passieren und somit in menschliche Zellen eindringen - mit teilweise ungeklärten Folgen. Zudem gibt es viele ungefährliche Alternativen wie etwa Calciumcarbonat, Reiskörner oder einfach eine Salzmühle, die ohne jede Nanotechnologie auskommen. Allerdings sind diese nicht so effizient bzw. angenehm für den Verbraucher und dazu teurer.

Das Prinzip der Adsorption ("Anlagerung") an nanoporöses Silicapartikel (Siliciumdioxid-Partikel mit nanoskaligen Poren) wird aber auch in der Trocknung von Erdgas genutzt. Letzteres wird dabei über Silica geleitet, sodass sich polare Stoffe (-> Wasser) anlagern, unpolare Kohlenwasserstoffe wie Methan aber nicht. Nach demselben Prinzip können auch Stoffe (Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Kohlenstoffdioxid) selektiv aus Abgasen entfernt werden.

Unter Berücksichtigung aller Vor- und Nachteile: Sollten nanoskalige Silica-Materialien weiterhin verwendet werden - und wenn ja, unter welchen Umständen?

AUFGABEN

1. Gebt schriftlich und in eigenen Worten die Problemstellung und die Lösungsmöglichkeiten wieder. Benennt die verschiedenen Kriterien (bspw. Gesundheit), anhand derer über eine mögliche Lösung entschieden werden kann.
2. Recherchiert anhand der unten angegebenen Links fachliche Hintergründe und Informationen, um die Entscheidungsmöglichkeiten beurteilen zu können. Berücksichtigt dabei möglichst viele verschiedene Blickwinkel.
3. Vergleicht anhand der Rechercheergebnisse eure Entscheidungsmöglichkeiten und entscheidet euch begründet für eine Option.
4. Bereitet eine Präsentation (PowerPoint) vor, welche den anderen Gruppen die folgenden Punkte erläutert:
 - die Problemstellung und die Lösungsmöglichkeiten,
 - die relevanten fachlichen Informationen,
 - die erarbeiteten Kriterien und
 - die begründete Entscheidung.

Die Vortragsdauer soll etwa 5, maximal 10 Minuten betragen! Bereitet zusätzlich ein Handout vor, welches die wichtigsten Inhalte des Vortrags zusammenfasst.

LINKS

<http://www.zeit.de/politik/2009-10/risiken-nanotechnologie/seite-1>

http://www.planet-wissen.de/natur_technik/forschungszweige/nanotechnologie/index.jsp

http://www.planet-wissen.de/natur_technik/forschungszweige/nanotechnologie/nanofood.jsp

<http://www.nanopartikel.info/cms/Wissensbasis/siliciumdioxid>

<http://www.schrotundkorn.de/2013/201305e09.php>

http://www.silica.de/pdf/Prospekt_Trocknung.PDF (Seite 3, "Trocknung durch Adsorption")

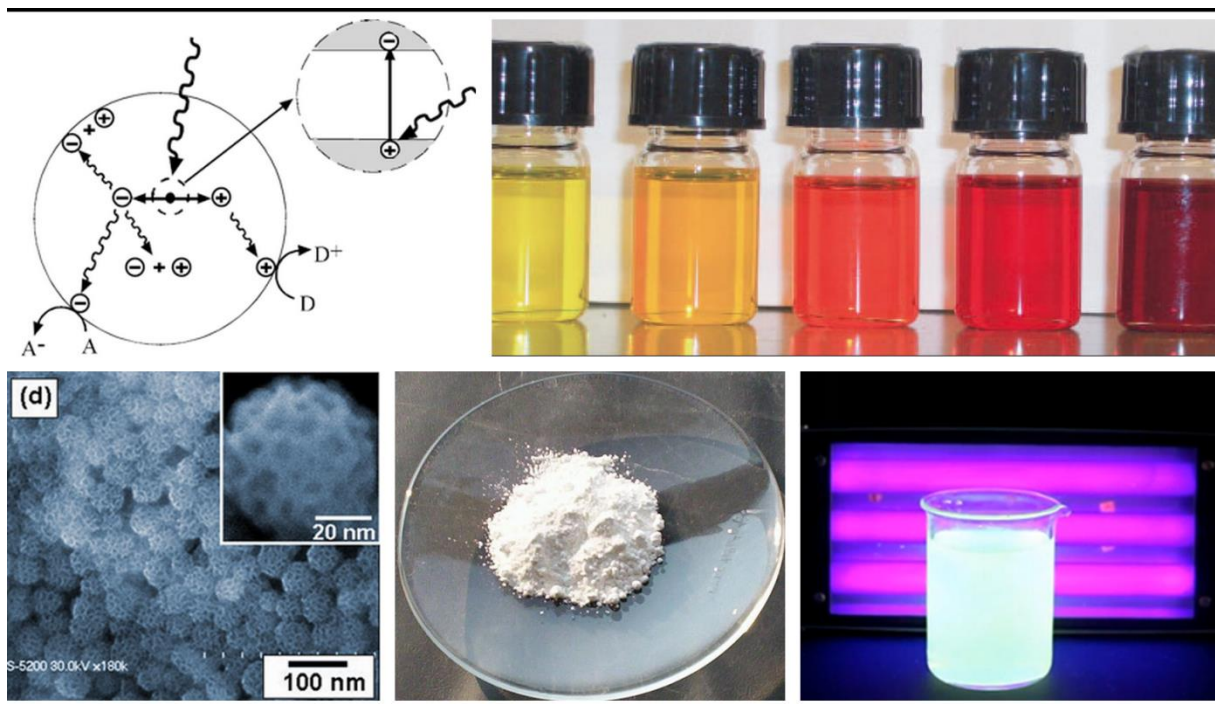
Design by ECT | Images by Fotogroph

A-Abb. 10 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.

A3.5 Schülerskript zur Unterrichtseinheit „Nano“

Schülerskript

zur Unterrichtseinheit „Nano“



Einführung in das Unterrichtsskript

Vor euch liegt das Unterrichtsskript zur Unterrichtseinheit „*nano*“. Dieses Skript soll von euch im Rahmen der nächsten Stunden bearbeitet werden. Das Skript und die Einheit sind in vier Module geteilt, in denen ihr mehr über Nanopartikel und die Nanotechnologie erfahren werdet. Folgende Module werdet ihr im Einzelnen bearbeiten:

Modul 1: Wie funktioniert „*nano*“?

- Teil 1: Wer oder was ist eigentlich dieses „*nano*“?
- Teil 2: Wie groß ist „*nano*“?
- Teil 3: „*nano*“ – klein, aber oho!

Modul 2: Wie macht man eigentlich „*nano*“?

Modul 3: Wozu braucht man „*nano*“?

Modul 4: Alles „*nano*“ oder was?

Ob ihr die Aufgaben und Experimente eigenständig oder in Gruppen bearbeitet, entscheidet die Lehrkraft. In jedem Fall aber muss das Skript von jedem ausgefüllt werden. Dabei helfen werden euch die Informationen, die ihr dort vorfinden werdet. Darüber hinaus findet ihr weitere Hilfen und Symbole, die hier erklärt werden:



An diesen Stellen könnt ihr die sogenannten Informationskarten zu Rate ziehen, die sich am Ende des Skripts befinden. Diese geben weiterführende Informationen zu dem gewünschten Thema. Sie befinden sich im Anhang.



Dieses Symbol kennzeichnet Rechercheaufträge; sie sind nicht verpflichtend, enthalten aber viele interessante Informationen. Es werden verschiedene Themen darin angesprochen, die über das Skript hinausgehen und sich für eine tiefergehende Beschäftigung eignen.

Viel Erfolg!

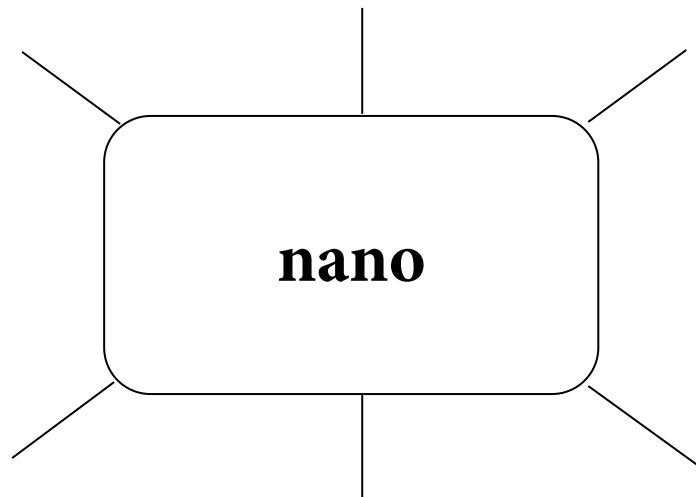
Modul 1: Wie funktioniert „nano“?

In diesem Modul sollt ihr die Einheit „nano“ kennenlernen. Zunächst soll geklärt werden, was sich hinter diesem Begriff verbirgt (Teil 1), dann soll eine genauere Vorstellung dieser Größen-dimension geschult (Teil 2) und schließlich die besonderen Eigenschaften von Nanomaterialien erklärt werden (Teil 3). Ihre besondere Bedeutung für die heutige Wissenschaft soll dabei hervorgehoben werden.

Schlagwörter: Nanometer, Nanotechnologie, Größe, Oberfläche-Volumen Verhältnis, Oberflächenatome, ungesättigte koordinative Bindungen, veränderte Eigenschaften, makroskopisch

Teil 1: Wer oder was ist eigentlich dieses „nano“?

Erstelle eine Mind-Map zum Thema „nano“! Was kommt dir bei dem Begriff in den Sinn?



1a) Stelle heraus, wie der Begriff „nano“ in den folgenden Produktbeschreibungen (Abb. 1 und 2) verwendet wird! Vergleiche die Produktbeschreibungen mit deinen Erwartungen!

Design. Der dünnste iPod aller Zeiten.

Gerade mal 5,4 mm dünn und in etwa so groß wie eine Kreditkarte – der iPod nano ist der dünnste iPod nano, den es je gab. Das 2,5" Multi-Touch Display ist fast doppelt so groß wie das des vorherigen Modells. Du hast also mehr von deinen Songs, Fotos und Videos. Über die Tasten kannst du die Musik schnell wiedergeben, anhalten und die Lautstärke anpassen. Mit dem glatten Design aus eloxiertem Aluminium fühlt sich der iPod nano so gut an wie er klingt. Und er wäre kein iPod nano ohne die fantastischen Farben. Diese Auswahl wird dir schwerfallen.

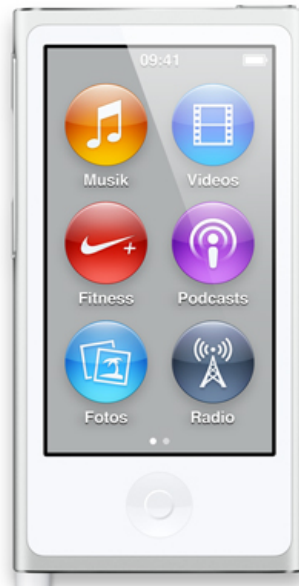


Abbildung 1 – Werbeanzeige für einen iPod nano



Abbildung 2 - Der Tata Nano ist ein viersitziger Kleinwagen des indischen Automobilherstellers Tata Motors. Das Fahrzeug wurde anfangs mit einem Kaufpreis von 100.000 indischen Rupien (etwa 1.440 Euro) beworben^[1].

1b) Erkläre mit Hilfe der Abbildungen 3 und 4, wie sich die Beschreibung von „nano“ in den folgenden Produkten von denen unterscheidet, die du vorher gelesen hast!

**Abbildung 3 – Werbe-
anzeige für Hautpfe-
geprodukte mit
Coenzym Q10 -Nano-
partikeln**

Coenzym Q10-Nanopartikel

Für Schutz und Pflege der reifen Haut

Coenzym Q10 hemmt die Radikalbildung und aktiviert den Fettstoffwechsel.

Zusammensetzung Nanopartikel aus Coenzym Q10 (INCI: Ubiquinone) und natives Phosphatidylcholin in wässriger Dispersion.

Eigenschaften Die Nanopartikel stabilisieren Coenzym Q10 und transportieren den Wirkstoff in optimaler Weise in die Hornschicht. Coenzym Q10 wird insbesondere in Cremes für die reife Haut in Kombination mit den Vitaminen A und E eingesetzt. Es verstärkt die Wirkung dieser Vitamine und die antioxidative Kapazität der Epidermis. Ein Schutz gegen oxidative UV-A-Effekte ist beschrieben. Das eingesetzte Coenzym Q10 wird biotechnologisch aus Glucose gewonnen.

**Abbildung 4 - Wer-
beanzeige für 3x
nano Glas Impräg-
nierung**

3x nano Glas Imprägnierung ist ein innovatives Produkt, basiert auf den jüngsten Erkenntnissen aus der Nanotechnologie, das eine dreifache hocheffektive Formel beinhaltet. Das Mittel erzeugt einen allumfassenden Schutz für Linsen, Brillen, Taucherbrillen, Ski- Helme und - Brillen und Ferngläser. 3x nano schützt dank der beinhaltenden Silberpartikel bis zu 2 Wochen vor Beschlag und Ansammlungen von Staub und Bakterien.



3x nano

In Abbildung 5 wird der Begriff „nano“ von der Bundesregierung definiert. Fasse kurz zusammen, worum es sich laut der Beschreibung bei „nano“ handelt!

Was ist Nanotechnologie?



Ein Nanometer verhält sich zu einem Meter wie eine Haselnuss zur Erde

Foto: Picture-Alliance / Photoshot

Normalerweise bestimmen sich Technologien durch ihren Anwendungsbezug. Die Luftfahrttechnologie beispielsweise beschäftigt sich mit der Entwicklung und Verbesserung von Flugzeugen.

Die Nanotechnologie jedoch grenzt sich nicht durch ihren Anwendungsbezug von anderen Technologien ab.

Vielmehr bestimmt sich die Nanotechnologie zunächst

nur durch die Größe der Materialien, die untersucht werden. Ganz allgemein sind diese kleiner als 100 Nanometer bis hin zur Größe eines Atoms.



Foto: earth observatory/nasa

**Abbildung 5 – Aus-
schnitt aus der Informa-
tionsseite der Bundesre-
gierung zum Thema
„nano“**

Die Längenbezeichnung Nanometer geht auf das griechische Wort für Zwerg zurück. Ein Nanometer ist ein Milliardstel Meter. Da dies kaum vorstellbar ist, muss man mit einem Größenvergleich arbeiten: Ein Nanometer verhält sich zu einem Meter wie eine Haselnuss zur Erde. Oder: Der Durchmesser eines menschlichen Haares beträgt 50.000 Nanometer.



Informiert euch über Berufe und Studiengänge, die sich mit der Nanotechnologie beschäftigen! (z.B. <http://berufenet.arbeitsagentur.de/berufe/search/simple/index.jsp>)

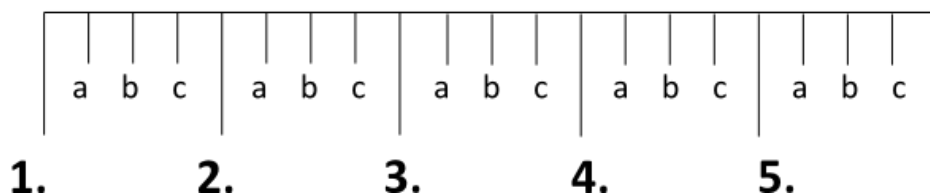
Überprüfe nun, deine Mind-Map vom Anfang! Was würdest du ergänzen, was würdest du weglassen?

Teil 2: Wie groß ist „nano“?

In dem Informationstext der Bundesregierung aus Teil 1 habt ihr eine erste Einschätzung darüber erhalten, worum es sich bei „nano“ eigentlich handelt. Dieser Begriff wird für viele Dinge verwendet, soll sich aber in diesem Skript vor allem auf Nanopartikel und Nanomaterialien beziehen. Auch die Größe solcher Nanopartikel oder -materialien wurde dort thematisiert – ein Nanometer sei „ein Milliardstel Meter“ oder er „verhält sich zu einem Meter wie die Haselnuss zur Erde“. Darauf aufbauend wird im Folgenden versucht, eine genauere Vorstellung dieser Größendimension zu erhalten.

1. Beschrifte alle Linien auf dem Zahlenstrahl sinnvoll!

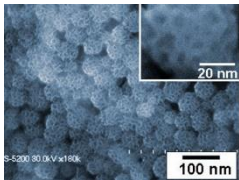


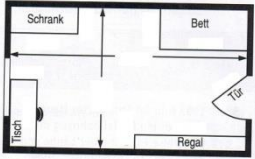

1 km	1 m	1mm	1 µm	1 nm	1 pm
10^3 m	10^1 m	10^{-3} m	10^{-6} m	10^{-9} m	10^{-12} m
1000 m	1 m	0,001 m	0,000 001 m	0,000 000 001 m	



- | | | |
|-------|----|----|
| 1. a) | b) | c) |
| 2. a) | b) | c) |

3. a) b) c)
 4. a) b) c)
 5. a) b) c)

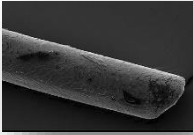


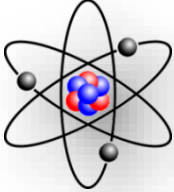
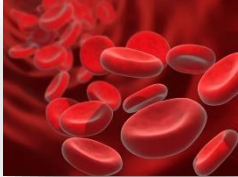

Ordne die Begriffe den Positionen auf dem Zahlenstrahl zu! Trage dazu die entsprechende Zahl in die rechte Spalte ein!

Nanopartikel	
Kingdom Tower	
Haarknoten	
Zimmer	
Ameise	

Im Folgenden siehst du einige Gegenstände und Dinge, die sich im erweiterten Nanobereich befinden.

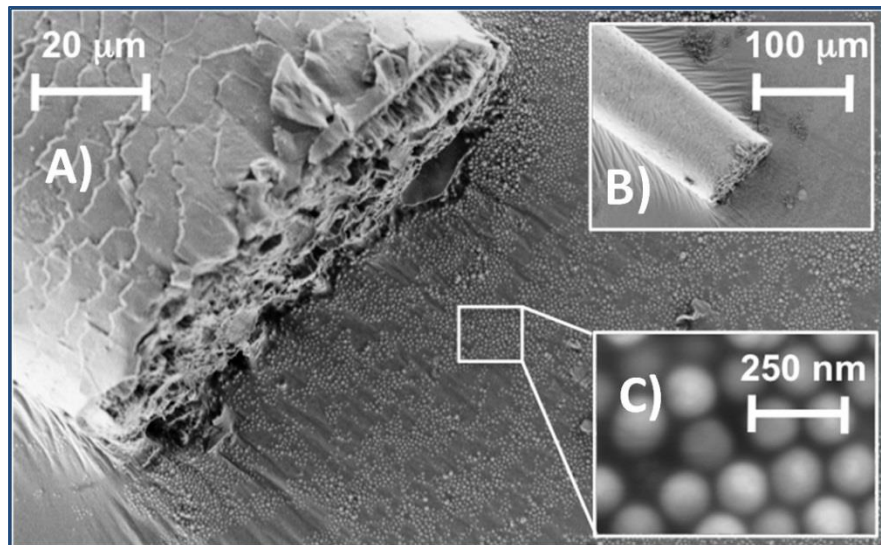
Ordne folgende Gegenstände der Größe nach von groß nach klein! Füge dazu Nummern in die unterste Zeile ein (1.für den größten Gegenstand, 6.für den kleinsten usw.). Schätze dabei auch die Größe der einzelnen Dinge und schreibe deine Schätzung ebenfalls in die unterste Zeile!

Vergleiche deine Schätzungen mit der Abbildung auf der ersten Informationskarte!

<i>Haar</i>	<i>Staubmilbe</i>	<i>Bluttropfen</i>
		
<i>Atom</i>	<i>Rotes Blutkörperchen</i>	<i>DNA-Strang</i>
		

In den Aufgaben zuvor haben wir bereits einige Gegenstände kennengelernt, die annähernd im Nanobereich liegen. Zu den kleinsten noch sichtbaren Dingen, die der Mensch sich vorstellen und begreifen kann, zählt das menschliche Haar. Dieses wollen wir nun mit Nanopartikeln vergleichen, um dir eine besser greifbare Vorstellung von diesen winzigen Teilchen zu geben. Auf dem Bild A) und B) in Abbildung 6 siehst du ein menschliches Haar und auf Bild C) Nanoteilchen, welche mit einem Mikroskop vergrößert wurden.

Abbildung 6 - Vergrößerung eines menschlichen Haares im Vergleich zu Nanopartikeln



Berechne, wie viele Nanoteilchen nebeneinander gelegt werden müssen, um den Durchmesser eines Haares zu erreichen. Miss dazu den Durchmesser des Haares, sowie den Durchmesser der Nanoteilchen!

Rechnung:

Nach Teil 1 und 2, wisst ihr nun, was als „nano“ bezeichnet wird, und habt eine bessere Vorstellung davon, wie groß diese Teilchen wirklich sind. Unklar geblieben ist bisher aber, inwiefern sich die geringe Partikelgröße auf die Eigenschaften der Materialien auswirkt. Verhalten sich große Goldpartikel genauso wie Gold-Nanopartikel? Und wenn nicht – inwiefern verhalten sie sich anders? Und können wir dieses geänderte Verhalten vielleicht sogar nutzen?

Teil 3: „nano“ - Klein aber oho!

In diesem Teil des Einstiegsmoduls wollen wir klären, was für neue Eigenschaften die kleine Größe der Nanopartikel mit sich bringt. Dies soll an Hand des folgenden Modells ermöglicht werden: Wir stellen uns einen Würfel vor und definieren seine Kantenlänge $a = 1 \text{ cm}$. Dieser Würfel soll nun im Folgenden immer weiter in jeweils acht gleichartige Würfel geteilt werden, wodurch die Kantenlängen folglich ebenfalls immer wieder halbiert werden. Dabei wollen wir uns anschauen, wie sich die Gesamtoberfläche aller Würfel verändert.

Abbildung 7 - Fortwährendes Teilen von Würfeln



1

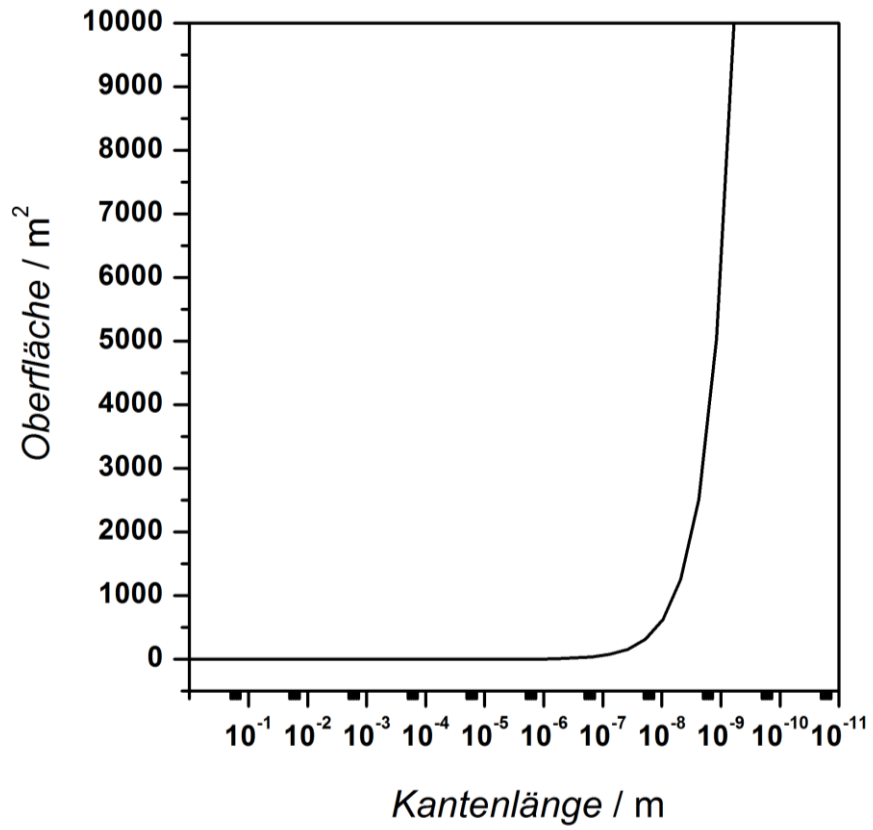
Vervollständige folgende Tabelle! Welcher Trend lässt sich beobachten? Formuliere eine Formel für die Fortsetzung der Reihe!

Teilungen	Anzahl der Würfel	Kantenlänge a [cm]	Oberfläche A
0	1	1	6 cm^2
1	8	$\frac{1}{2}$	12 cm^2
2	64	$\frac{1}{4}$	24 cm^2
3			
4			
5			
12			
n			

Im folgenden Diagramm siehst du den Graphen, der sich bei Auftragung der Werte aus der Zerteilung der Würfel ergibt. Daran lässt sich sehr gut die Entwicklung der Oberfläche bei Verkleinerung der Würfel zeigen.

Kennzeichne den Bereich von 1 – 100 nm im Graphen. Was lässt sich in diesem Bereich beobachten?

Abbildung 8 - Logarithmische Auftragung Oberfläche / Kantenlänge





Erkläre die Rolle der Oberfläche bei chemischen Reaktionen! Was bedeutet dies für Nanopartikel?

Nicht nur die Oberfläche an sich, sondern auch der Anteil an Oberflächenatomen ist für die Besonderheit der Nanopartikel verantwortlich. In Nanopartikeln sind auf Grund ihrer geringen Größe viele Atome Oberflächenatome. Diese sind auf Grund ihrer ungünstigen Lage energetisch erhöht. Du kannst dir diese wie Autos vorstellen denen eines der vier Räder fehlt. An der Oberfläche in Feststoffen fehlt ihnen ein Bindungspartner (vgl. Abb. 9 und **Informationskarte 2**). Man spricht von ungesättigten koordinativen Bindungen. Dieser Zustand ist besonders ausgeprägt bei Eckatomen.

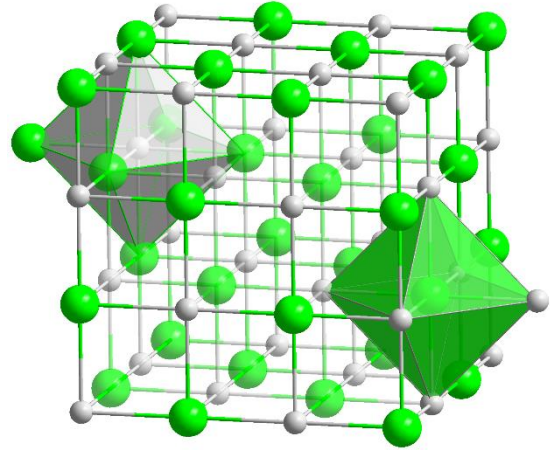


Abbildung 9 - Darstellung des Ionenrasters von Natriumchlorid

In einem großen Feststoff spielen diese Effekte kaum eine Rolle, da nur ein Bruchteil der Atome an der Oberfläche liegt. Sobald die Oberflächenatome jedoch einen großen Anteil der eigentlichen Atome des Stoffes ausmachen, werden die Eigenschaften des Stoffes maßgeblich durch diese Atome bestimmt. Dies ist bei Nanoteilchen gegeben. Die Ebene der Nanoteilchen mit ihren besonderen Ei-

genschaften bildet damit eine Zwischenebene zwischen den Eigenschaften der Stoffe, die wir sehen und anfassen können, und den Atomen und ihren Eigenschaften. Im unteren Nanobereich verhalten sich Stoffe annähernd wie auf Molekülebene, während die größeren Nanoteilchen bereits ähnliche Eigenschaften wie die Stoffe besitzen, mit denen wir im Chemieunterricht zu tun haben.

Durch den erhöhten Anteil der Oberflächenatome am Volumen des Teilchens werden völlig veränderte Eigenschaften der Stoffe auf Nanoebene im Vergleich zur Stoffebene bedingt: Diese ändern z.B. ihre Farbe, ihre Leitfähigkeit oder ihren Schmelzpunkt. Diese veränderten Eigenschaften sind häufig sehr nützlich und können in den unterschiedlichsten Bereichen genutzt werden.



Informiere dich darüber, welche Eigenschaften sich auf Nanoebene verändern, und finde Beispiele (z.B. http://www.bund.net/themen_und_projekte/nanotechnologie/nanomaterialien/)!

Reflexionsaufgabe:

Fasse kurz und in eigenen Worten zusammen, was du in diesem Modul gelernt hast. Verwende dafür die Schlagwörter vom Anfang des Moduls!

Modul 2: Wie macht man eigentlich „nano“?




In diesem Modul wirst du verschiedene Verfahren kennenlernen, wie Nanomaterialien hergestellt werden. Am Beispiel des Zinkoxids sollst du einmal selbst Nanopartikel herstellen und diese nachweisen. Dabei sollen verschiedene größenabhängige Eigenschaften gezeigt werden.

Schlagwörter: top-down, bottom-up, Fällungsreaktion, Fluoreszenz, Anregung von Elektronen, Licht, Energie, Wellenlänge, Bandlücke, Quantengrößeneffekt, Ostwald-Reifung

Führe folgenden Versuch durch:

Versuch 1: Herstellung von Zinkoxid Nanopartikeln

Geräte: Magnetrührer, Becherglas (50 mL), Becherglas (250 mL), Thermometer, Stativmaterial, UV-Lampe, Stößel und Mörser, Petrischale

Gefahrstoff	H-Sätze	P-Sätze	Gefahrsymbole
Ethanol	H 225	P 210	
Natriumhydroxid	H 314 H 290	P 280 P 301+330+331 P 305+351+338	
Zinkacetatdihydrat	H 302 H 410	P 262 P 273	

Durchführung: Zunächst wird eine $0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ ethanolische Natriumhydroxidlösung hergestellt. Dazu müssen 0,28 g Natriumhydroxid-Plättchen in 35 mL Ethanol bei 40 °C unter stetigem Rühren in einem Becherglas gelöst werden. Die Natriumhydroxid-Plättchen werden dabei zunächst mit Stößel und Mörser zu einem Pulver klein gemörsert und dann die benötigten 0,28 g abgewogen. Nach Zugabe zum Ethanol wird die Lösung auf der Heizplatte auf 40 °C erhitzt.

Parallel dazu werden in einem Becherglas 2,2 g Zinkacetatdihydrat in 100 mL Ethanol bis zum vollständigen Lösen des Feststoffes (etwa 10 Minuten) bei 60 °C erhitzt. Beide Lösungen werden dabei mit je einem Teil der Petrischale abgedeckt, sodass möglichst wenige Ethanoldämpfe entweichen.

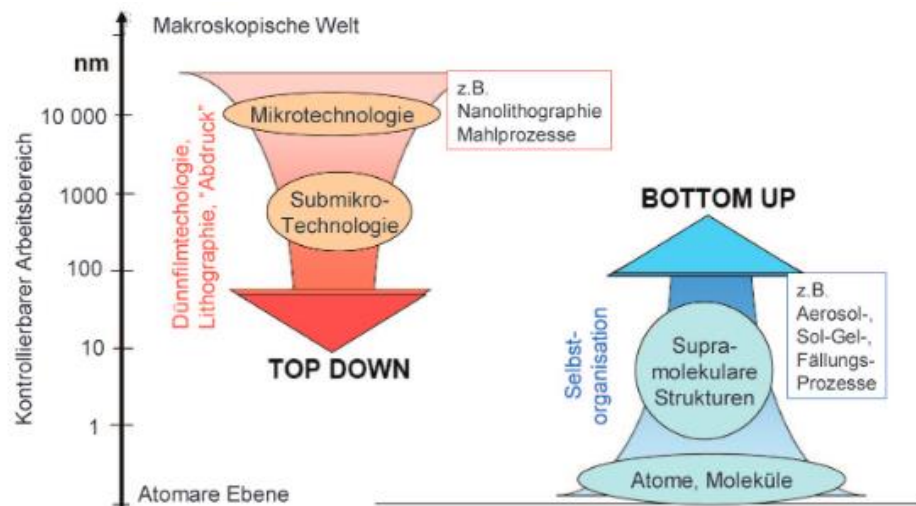
Sobald sich das Zinkacetat-Dihydrat gelöst hat, wird unter UV-Licht die noch heiße ethanolische Natriumhydroxid-Lösung zugegeben. Achte dabei darauf, nicht in die UV-Lampe zu sehen oder deinen Klassenkameraden anzuleuchten. Die entstehende Lösung soll für die nächsten Versuche aufbewahrt werden. Benutzt dafür möglichst Schnappdeckel- oder Schraubgläser.

Während ihr noch auf das Lösen der Feststoffe wartet, bearbeitet ihr bitte bereits folgende Aufgabe:

a) Lies dir folgenden Informationstext ^[2] zu verschiedenen Verfahren der Herstellung von Nanopartikeln durch!

Für die Herstellung von Nanopartikel werden grundsätzlich zwei verschiedene Strategien verfolgt: „Top-Down“ und „Bottom-Up“.

Abbildung 30 - top-down- und bottom-up Verfahren



Unter „Top-Down“ (von oben nach unten) versteht man im Zusammenhang mit Nanopartikeln die mechanische Zerkleinerung des Ursprungsmaterials, etwa mittels eines Mahlprozesses. In der „Bottom-Up“ Strategie (von unten nach oben) werden Strukturen mittels chemischer Prozesse aufgebaut. Die Auswahl des jeweiligen Verfahrens richtet sich nach der chemischen Zusammensetzung und den anvisierten Eigenschaften der herzustellenden Nanopartikel.

Bei den Top-Down Verfahren handelt es sich vorwiegend um mechanisch-physikalische Herstellungsverfahren, bei den Bottom-Up Verfahren, um chemisch-physikalische Herstellungsverfahren. In beiden Fällen gibt es unterschiedliche Methoden, die in folgender Abbildung dargestellt werden sollen:

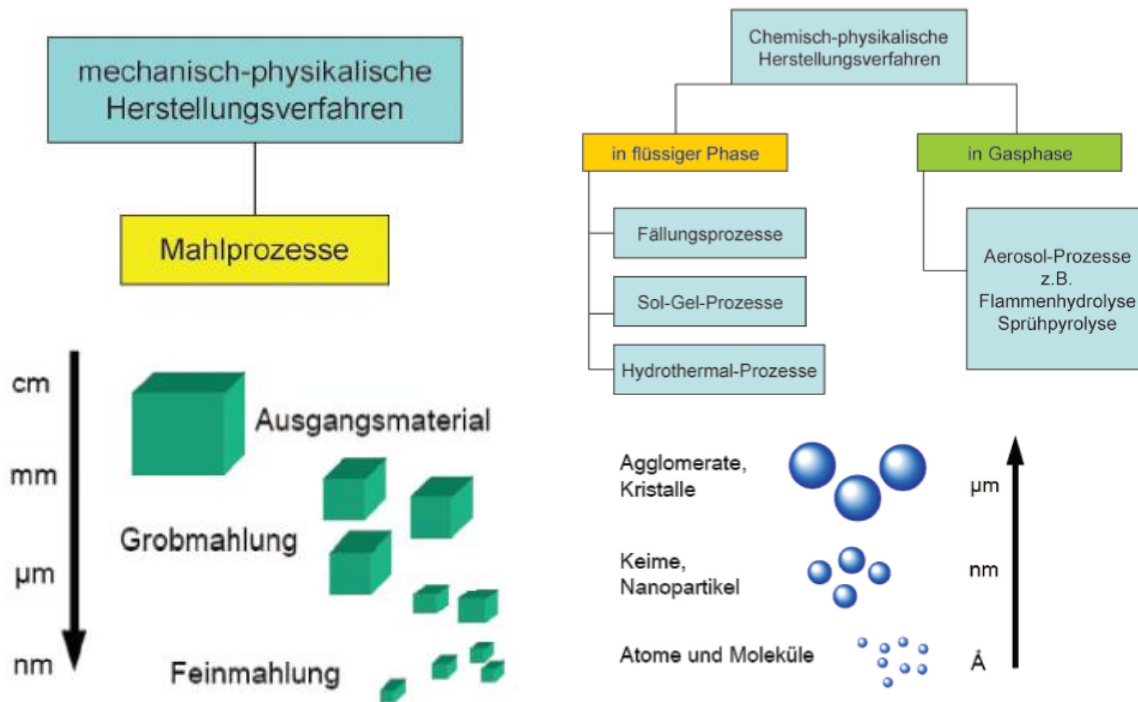
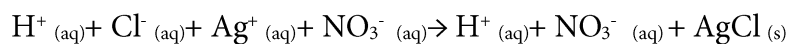


Abbildung 11 - Übersicht über mechanisch- und chemisch-physikalische Verfahren zur Nanopartikelherstellung

Die Fällung (Ausflockung) von Feststoffen aus einer Metallionen enthaltenden Lösung ist eines der am häufigsten verwendeten Herstellungsverfahren von Nanomaterialien. Metalloxide, nichtoxidische und auch metallische Nanopartikel können so durch Fällung hergestellt werden. Das Verfahren basiert auf Reaktionen von in Lösungsmitteln gelösten Ausgangssalzen. Zur Bildung des gewünschten Partikelniederschlags wird ein Fällungsreagenz zugegeben und der gebildete Niederschlag abfiltriert und thermisch nachbehandelt.

Ein Beispiel hierfür ist die Fällung von Silberchlorid aus Silbernitratlösung bei Zugabe von Salzsäure. Silber-Ionen aus der Silbernitratlösung reagieren dabei mit Chlorid-Ionen aus der Natriumchloridlösung zu Silbernitrat. Damit ist Silbernitrat die Metallionen enthaltende Lösung und die Salzsäure die Fällungsreagenz, durch die das Silber herausgefällt wird.

Salzsäure + Silbernitratlösung → Hydronium-Ionen + Nitrat-Ionen + Silberchlorid



Bei Fällungsprozessen werden Partikelgröße und -größenverteilung, Kristallinität (bezeichnet den Anteil eines Stoffes, der aus Kristallen besteht) und Morphologie (Form) durch die Reaktionskinetik (u.a. Reaktionsgeschwindigkeit) bestimmt. Neben der Konzentration der Ausgangsstoffe, zählen die Temperatur, der pH-Wert der Lösung und auch die Reihenfolge der Zugabe der Ausgangsstoffe und Mischvorgänge zu den Einflussfaktoren.

Neben großtechnischen Verfahren entstehen Nanopartikel auch auf natürlichem Wege. Bei Verbrennungen entstehen beispielsweise winzige Rußpartikel, ebenso in Schreinereien bei Holzarbeiten.

b) Bestimme nach welcher Methode in diesem Experiment Nanopartikel hergestellt werden.



Informiere dich über die weiteren in der Abbildung erwähnten Herstellungsverfahren von Nanopartikeln (z.B. Sol-Gel-Prozess, Aerosol) (z.B. <http://www.e-pub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier006.pdf>)!

Notiere nun deine Beobachtungen zum Experiment!

Deutung



Bei diesem Versuch handelt es sich um eine Fällungsreaktion. Erkläre diesen Begriff und stelle eine Reaktionsgleichung auf!

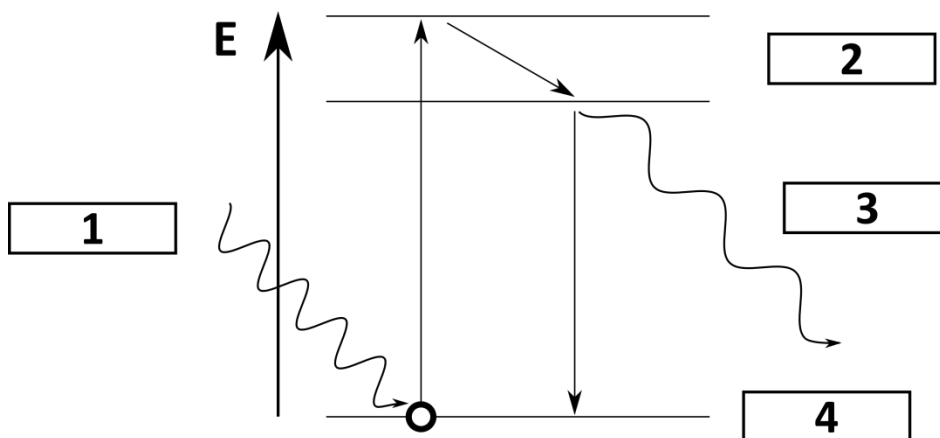


Wie nennt man den unter UV-Licht beobachtbaren Prozess?

Bei diesem Prozess werden zunächst Elektronen aus dem Zinkoxid durch **UV-Licht** angeregt. Diese werden von dem **Grundzustand** in einen energetisch höheren **angeregten Zustand** gehoben. Dieser Zustand ist jedoch nicht stabil und so fallen die Elektronen aus diesem Zustand wieder in den Grundzustand zurück. Hierbei wird die zuvor aufgenommene Energie wieder freigesetzt, zum größten Teil als Licht, welches vom menschlichen Auge wahrgenommen werden kann. Dieses **emittierte Licht** bezeichnet man je nach Dauer unterschiedlich (vgl. **Informationskarte 4**).

Neben der Emission von Licht, gibt es weitere Möglichkeiten für angeregte Elektronen ihre Energie abzugeben. Man spricht von strahlungsfreien Übergängen. Dabei geben Elektronen ihre überschüssige Energie durch Schwingung ab, diese Übergänge kann das menschliche Auge nicht wahrnehmen.

Fülle folgende Abbildung aus. Benutze dafür die fettgedruckten Wörter aus dem oberen Text!



1:

2:

3:

4:

a) Erkläre, warum das Licht, welches die Zinkoxid-Nanopartikel emittieren, weniger energiereich ist als das, mit dem sie angeregt wurden! Benutze dazu die Abbildung!

b) Erläutere, was dies für die Wellenlänge des emittierten Lichts bedeutet! Ist dessen Wellenlänge langwelliger oder kurzwelliger als die des eingestrahlten UV-Lichts?



Tipp: Falls dir unklar ist, was genau UV-Licht ist und du mehr über die Zusammenhänge zwischen Licht und Wellenlänge erfahren möchtest, ziehe **Informationskarte 5** zu Rate!

In einem weiteren Experiment soll nun die Fluoreszenz größerer Zinkoxid-Teilchen untersucht werden. Dazu sollen die kleinen Nanopartikel zur Reife gebracht, das heißt vergrößert werden.

Versuch 2: Fluoreszenz von Zinkoxid Nanopartikeln

Gefahrstoff	H-Sätze	P-Sätze	Gefahrsymbole
Ethanol	H 225	P 210	
Zinkoxid -Nanopartikel (aus Versuch 1)	H 410	P273	
destilliertes Wasser	H: /	P: /	/

Geräte: Reagenzglas, Reagenzglasklammer, Bunsenbrenner, UV-Lampe, Pipette

Durchführung: Etwa drei Milliliter der gerade hergestellten Zinkoxid-Nanopartikel-Lösung aus Versuch 1 werden in ein Reagenzglas gegeben. Dazu wird ein Milliliter destilliertes Wasser hinzugefügt. Das Reagenzglas wird mit Hilfe der Reagenzglasklammer über dem Bunsenbrenner vorsichtig erhitzt. Dabei wird das Reagenzglas während des Erhitzens mit UV-Licht beleuchtet, sodass sich die Fluoreszenz beobachten lässt. Achte darauf, dass du das Reagenzglas beim Erhitzen kontinuierlich leicht schüttelst, damit es nicht zu einem Siedeverzug kommt. Auch in diesem Versuch solltest du nicht in die UV-Lampe sehen oder deinen Klassenkameraden damit anleuchten.

Die überschüssige Lösung wird in einen Abfallbehälter am Lehrerpult gegeben.

Beobachtung:

Deutung:

a) Lies dir folgenden Text zur sogenannten Ostwald-Reifung durch!

Die Ostwald-Reifung beruht auf der Löslichkeit eines feinen Pulvers, im Wortlaut Ostwalds: „da nach bekannten Prinzipien ein feines Pulver löslicher sein muss als ein grobes“. Der Konzentrationsunterschied zwischen den Teilchen wird ausgeglichen, indem ein Materiestrom von den kleinen zu den großen Kolloiden fließt. Das heißt, dass die kleinen Teilchen schrumpfen, die großen aber weiter wachsen. Kolloide sind dabei im Medium verteilte, sehr kleine Teilchen, wie die Nanopartikel in der Lösung oder kleinste Fetttropfchen in der Milch. Sobald der Radius eines kleinen Kolloids einen kritischen Wert unterschreitet, wird es energetisch instabil und löst sich vollständig auf (Kelvin-Instabilität). Folglich verringert sich die Zahl der Kolloide mit fortschreitender Evolution (Vergrößerung) und es kommt zu einer Phasentrennung. Während der Ostwald-Reifung wird die freie Energie (Oberflächenspannung) des Systems minimiert – folglich sind die entstehenden (größeren) Partikel stabiler.^[3] Dieser Prozess wird besonders durch Hitze und Zugabe von Wasser beschleunigt.

b) Erläutere, was mit den Zinkoxid-Nanopartikeln beim Erhitzen mit Wasser passiert!



Informiere dich über Wilhelm Ostwald und die Kolloidchemie, den Vorreitern der Nanotechnologie! Konzentriere dich dabei auf die Errungenschaften Wilhelm Ostwalds!

Erläutere, was deine Beobachtung bezüglich der Farbe der Fluoreszenz für den Abstand zwischen Grund- und angeregtem Zustand bedeutet! Gehe dabei von der veränderten Wellenlänge des Lichts aus!

Halbleiter-Nanopartikel wie z.B. Zinkoxid besitzen spezielle Fluoreszenzeigenschaften. In Bezug auf Metalle und Metallverbindungen spricht man in der Chemie von Valenzband und Leitungsband anstelle von Grundzustand und angeregtem Zustand. Den Abstand zwischen diesen beiden nennt man Bandlücke und das Modell zur Beschreibung dieser das Bändermodell. Mit diesem lässt sich auch erklären, wann ein Stoff ein Leiter, Halbleiter oder Isolator ist (vgl. **Informationskarte 6**).



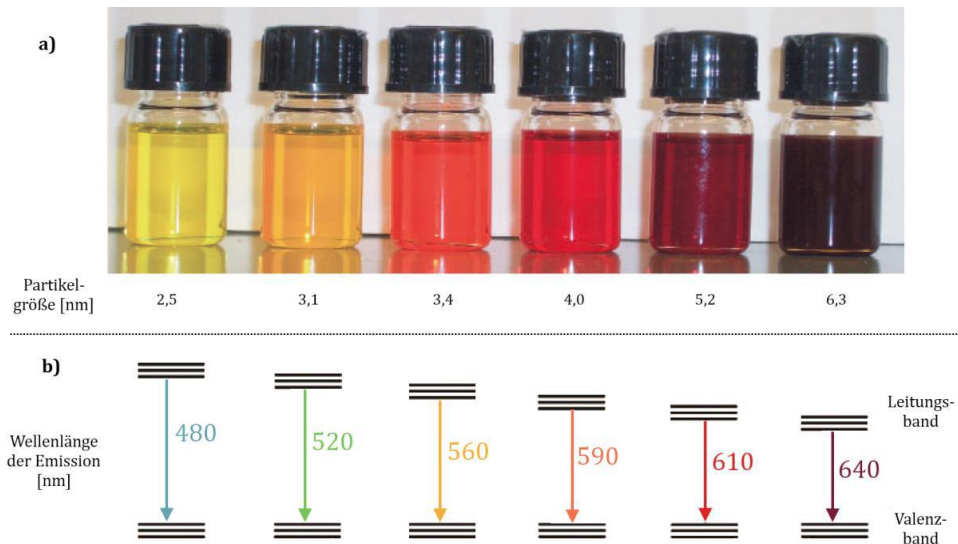
Das Besondere bei Halbleiternanopartikeln ist, dass der Energieabstand von Grundzustand zu angeregtem Zustand, d.h. die Bandlücke, nicht nur vom Material, sondern auch von der Partikelgröße abhängt.

Man nennt dieses Phänomen den Quantengrößeneffekt. Dieser tritt nur auf Nanoebene auf. Wenn nun sehr kleine Partikel vorliegen, resultiert dies in einem großen Abstand zwischen Grund- und angeregtem Zustand, also einer großen Bandlücke. Da für diesen Übergang viel Energie benötigt wird, ergibt sich eine blaue beziehungsweise nach blau verschobene Fluoreszenz, mit recht geringer Wellenlänge. Je größer die Partikel werden, desto kleiner wird die Bandlücke. Dadurch wird auch das emittierte Licht energieärmer, besitzt also eine größere Wellenlänge und ist rotverschoben. Somit lassen sich aus demselben Material Partikel herstellen, die in

verschiedenen Farben fluoreszieren, wobei sich die Farbe der Fluoreszenz (bzw. die Emissionswellenlänge) durch die Partikelgröße einstellen lässt. Kleine Partikel emittieren bei kleinerer Wellenlänge (größerer Photonenenergie), größere Partikel bei größeren Wellenlängen (kleinerer Photonenenergie).^[4]

Als weiteres Beispiel für diesen Effekt kann hier Cadmiumselenid dienen:

Abbildung 12 - a)
Cadmiumselenid
in verschiedenen
Größen



Ab einem Durchmesser von 8 nm verhält sich Cadmiumselenid wie ein quasi-unendlicher Festkörper und es werden keine größenabhängigen Effekte mehr beobachtet, die Bandlücke verändert sich nicht mehr signifikant.^[5]

Erkläre, warum sich bei längerem Erhitzen die Fluoreszenz der Partikel abschwächt!

Die speziellen Eigenschaften von Zinkoxid-Nanopartikeln machen sie sehr nützlich und erweitern ihren Einsatzbereich im Vergleich zu größeren Zinkoxidpartikeln. So werden Zinkoxid-Nanopartikel, die im Vergleich zu makroskopisch großen Partikeln transparent erscheinen, aufgrund ihrer sehr guten UV-Lichtabsorption seit Jahren in Sonnencremes eingesetzt.

Reflexionsaufgabe:

Fasse kurz und in eigenen Worten zusammen, was du in diesem Modul gelernt hast. Verwende dafür die Schlagwörter vom Anfang des Moduls!




Modul 3: Wozu braucht man „nano“?

In diesem Modul wirst du verschiedene spezifische Eigenschaften von Nanomaterialien und -partikeln kennenlernen und mehr über deren Verwendung in Alltag und Industrie erfahren.

Schlagwörter: Photokatalyse, Radikale, Elektronenanregung, Elektron-Loch-Paar, Donator-Akzeptor, Lotus-Effekt, hydrophil/ hydrophob, Stabilität von Nanopartikeln, Tensidmoleküle

Führe folgenden Versuch durch!

Versuch 3: Photokatalyse mit Zinkoxid-Nanopartikeln

Gefahrstoff	H-Sätze	P-Sätze	Gefahrsymbole
Ethanol	H 225	P 210	
Zinkoxid -Nano-partikel (aus Versuch 1)	H 410	P273	
Methylenblau	H 302	P301+312	

Hinweis: Der Versuch kann prinzipiell auch mit vielen anderen organischen Farbstoffen durchgeführt werden z.B. Rote-Beete-Saft, Bromthymolblau u.a. Mit Methylenblau werden jedoch die besten Ergebnisse erzielt.

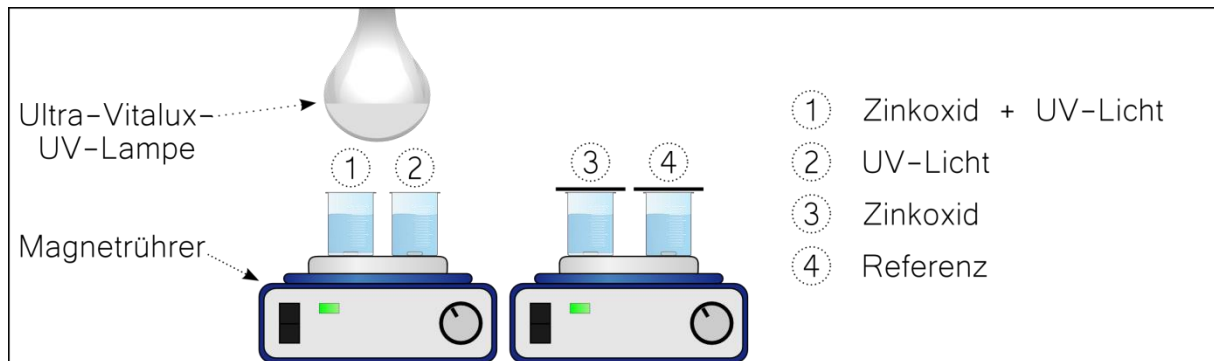
Geräte: UV-Lampe, Stativmaterial, zwei Pasteurpipetten, vier Schnappdeckelgläser oder vier Bechergläser (25 mL), vier Rührfische, Magnetrührer, ein Becherglas (50 mL).

Durchführung: Etwa 2 - 3 Kristalle Methylenblau (Vorsicht! Wirklich nur sehr wenige Kristalle nehmen) werden in 35 mL Ethanol gelöst, bis die Lösung leicht gefärbt ist; je 6 mL der Lösung werden in vier Schnappdeckelgläser / vier 25 mL Bechergläser gegeben und beschriftet. Mit diesen werden Proben gemäß der folgenden Tabelle vorbereitet:

	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4
Zugabe von 4 mL Zinkoxid-Lösung	X		X	
Bestrahlung durch UV-Licht	X	X		

Die Bestrahlung der Proben erfolgt mit Hilfe der UV-Lampe. Achte dabei darauf, nicht in die UV-Lampe zu sehen oder deine Klassenkameraden anzuleuchten. Es ist darauf zu achten, dass diese so positioniert wird, dass die Oberfläche der Flüssigkeit direkt bestrahlt wird; da UV-Licht

von Glas zu einem großen Teil absorbiert wird, sollte eine Bestrahlung von der Seite durch das Glas vermieden werden. Einen möglichen Aufbau zeigt die nachfolgende Abbildung.



Ist der Versuch aufgebaut, wird die UV-Lampe eingeschaltet und einige Minuten gewartet, bis sich eine Reaktion zeigt; dies kann eine Viertelstunde oder länger dauern. Schalte anschließend die UV-Lampe wieder aus und notiere deine Beobachtungen. Die überschüssigen Lösungen, die Methylenblau oder Zinkoxid-Nanopartikel enthalten, werden in ein Abfallgefäß am Lehrertisch gegeben.

Beobachtung:

Probe 1	
Probe 2	
Probe 3	
Probe 4	

Während ihr auf eine Reaktion wartet könnt ihr folgende Aufgabe bearbeiten:

a) Lies dir den folgenden Text zur Stabilität von Nanopartikeln durch!

Auf Grund der extrem hohen spezifischen Oberfläche und der dadurch erhöhten Reaktivität neigen Nanopartikel stark zu Agglomeration, das heißt die kleineren Partikel lagern sich zu größeren Partikeln zusammen. Für viele Anwendungen ist es jedoch essentiell, sie nanoskaliert in stabiler Form bereitzustellen, möglichst als isolierter Nanopartikel. Aus diesem Grund ist die Stabilisierung der Nanopartikel, also die gezielte Modifikation ihrer Oberflächenchemie zur Verhinderung der Agglomeration, ein wichtiger Forschungsschwerpunkt.^[6] Dafür gibt es verschiedene Methoden: Die einfachste besteht darin, Nanopartikel mit Molekülen zu umlagern, die in Wechselwirkung mit der Partikeloberfläche treten, sich aber leicht wieder ablösen lassen. Dies funktioniert über van der Waals-Kräfte/Dipol-Dipol Wechselwirkungen und Wasserstoffbrückenbindungen.

Auf der Partikeloberfläche sind beispielsweise Tenside mit hydrophilen funktionellen Gruppen adsorbiert. Dies liegt an der bevorzugten Löslichkeit/Adsorption polarer/hydrophiler Teilchen zu polaren/hydrophilen Gruppen. Ein Beispiel hierfür sind Carboxylgruppen, wie in Abbildung 13 gezeigt. Diese lagern sich an polare Teilchen wie Zinkoxid an. Die Tensidmoleküle bilden dann kurze „Härchen“, die in das Suspensionsmedium hineinragen und als „Abstandshalter“ dienen. Diese Funktion erhalten die Tenside über lange unpolare Ketten, an die sich andere polare Teilchen nicht anlagern können.^[7]

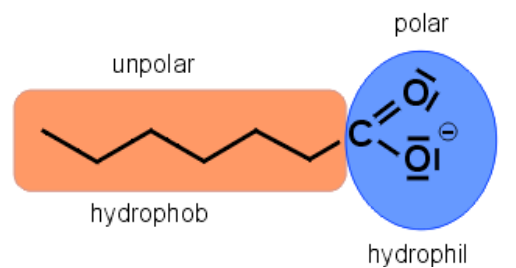


Abbildung 13 - Modell eines Tensidmoleküls

Ein Beispiel für eine solche Stabilisierung bietet ein Versuch mit Goldnanopartikeln (wie in Abbildung 14 gezeigt). Diese liegen zunächst in einer polaren Phase vor, da Wasser als Lösungsmittel verwendet wird. Darin sind Citrat-Moleküle gelöst, die relativ klein und stark polar sind. Diese umlagern das Molekül. Nun wird eine unpolare Phase hinzugegeben, in der Oleat-Moleküle in Dodecan gelöst sind. Diese Oleat-Moleküle besitzen ein polares Ende und einen langen unpolaren Kohlenwasserstoff-Rest. Letzterer kann sehr gut als Abstandshalter zu anderen polaren Molekülen dienen. Da die Gold-Nanopartikel in dieser Phase durch die langen unpolaren Ketten der Oleat-Moleküle besser stabilisiert sind, ist ein Phasentransfer zu beobachten, die Gold-Nanopartikel wechseln in die unpolare Phase. Dies ist anhand der Verfärbung der unpolaren Phase zu erkennen.^[8] Dabei kann das langkettige Oleat-Molekül mit beiden Enden am Gold-Nanopartikel andocken, da der Partikel unterschiedlich polarisiert werden kann.

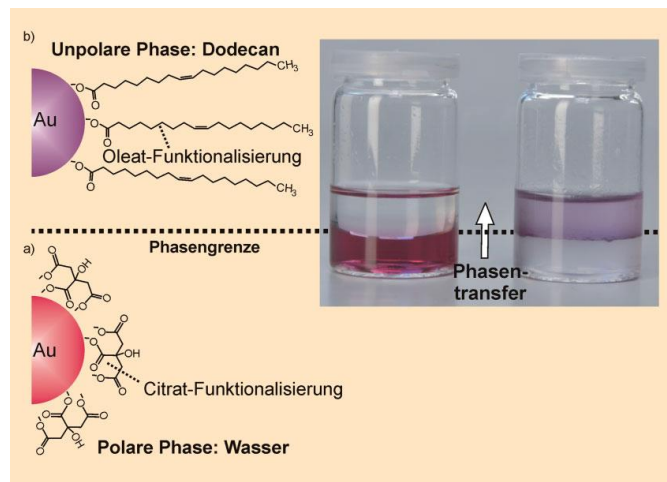


Abbildung 14 - Goldnanopartikel in Wasser und Dodecan

Durch geschickte Wahl der angelagerten Ionen oder Moleküle können die Eigenschaften und Anwendungen der Nanopartikel weiter modifiziert werden, zum Beispiel für den Einsatz im medizinischen Bereich (*drug delivery*).

b) Erkläre, welche Stoffe die Zinkoxid-Nanopartikel stabilisieren und auf welche Art und Weise dies geschieht!



Informiere dich über den Einsatz von Nanomaterialien in der Medizin (z.B. <http://www.welt.de/gesundheit/article115929697/Nanomedizin-leitet-Arznei-Revolution-ein.html>)!

Deutung:

Benenne die beiden Faktoren, die eine Entfärbung verursachen!

4. Erkläre, welche Prozesse ablaufen, wenn UV-Licht auf die Nanopartikel trifft! Wende dabei dein Wissen aus dem letzten Modul an!

Mit unserem bisherigen Modell lässt sich die Fluoreszenz von Zinkoxid-Nanopartikeln erklären – die Vorgänge bei diesem Experiment jedoch nicht. Aus diesem Grund wollen wir etwas genauer beleuchten, was bei der Bestrahlung mit UV-Licht geschieht. Bei der Anregung von Elektronen in Halbleitern wie Zinkoxid entstehen sogenannte Elektronen-Loch-Paare. Die Entstehung dieser soll in der Abbildung 15 anhand von Silizium-Atomen verdeutlicht werden:

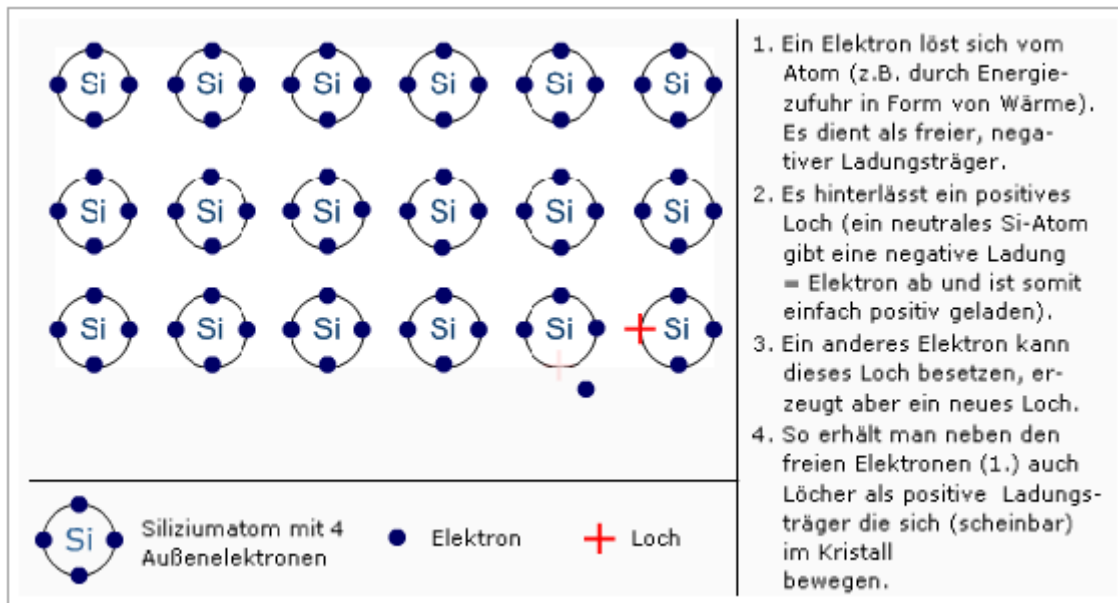


Abbildung 15 - Elektron-Loch-Paare in Siliziumpartikeln

Mit dem Bändermodell (vgl. **Informationskarte 6**) können wir dies nun genauer beschreiben und auf die Zinkoxid-Nanopartikel übertragen: Einige Elektronen werden vom Valenzband der Zinkoxid-Ionen in das Leitungsband angehoben. Im Valenzband, wo sie herausgehoben wurden, befinden sich nun Löcher, sog. Elektronenfehlstellen, welche positiv geladen sind. Im Leitungsband liegen mit den Elektronen zusätzliche negative Ladungen vor.

Die Ladungen verteilen sich im gesamten Partikel. Dadurch können diese Ladungen an die Oberfläche des Partikels wandern und dort in Wechselwirkung mit umliegenden Molekülen treten. Das angeregte Elektron kann auf Moleküle übertragen werden, die an der Oberfläche des Partikels liegen, und dort eine Reduktion verursachen. Diese Moleküle fungieren also als Akzeptoren. Umgekehrt kann die Lücke, die durch die Anregung des Elektrons gerissen wurde, durch ein anderes Elektron aufgefüllt werden. Dies geschieht durch Oxidation von umliegenden Molekülen, die ein Elektron abgeben. Dadurch fungieren diese als Donatoren.

Nanopartikel sind prädestiniert dafür, dass diese Diffusionsprozesse vermehrt stattfinden. Dies liegt daran, dass der Wirkradius des Elektron-Loch-Paares meist einige Nanometer beträgt und damit der Größe der Nanoteilchen entspricht. Eine Elektronenübertragung kann somit leichter stattfinden zumal die meisten Atome im Nanopartikel an der Oberfläche liegen.

Erstelle ein Schema zum Ablauf dieses Vorganges. Orientiere dich dabei am Bändermodell und an dem Fluoreszenzschema aus dem letzten Modul.

Verwende in der Abbildung die Begriffe: Donator, Akzeptor, Oxidation, Reduktion, UV-Licht, Valenzband, Leitungsband

Bei der Reduktion und bei der Oxidation der umliegenden Moleküle kommt es zur Entstehung von Radikalen. Radikale sind Moleküle mit freien d.h. ungepaarten Elektronen. Diese sind besonders reaktiv und reagieren nahezu augenblicklich mit den anderen Stoffen in der Lösung. Radikale werden in der Lewis-Formel durch einen Punkt gekennzeichnet (siehe Abbildung 16). Sie reagieren mit anderen Molekülen, indem sie von diesen ein Elektron binden. Die Moleküle werden dann selbst zu Radikalen. So kann eine Kettenreaktion in Gang gesetzt werden. Die so entstandenen Radikale reagieren wiederum mit anderen Molekülen, sodass diese Kettenreaktion nur unterbrochen wird, wenn zwei Radikale aufeinander treffen und rekombinieren. Ein Beispiel für einen durch Radikale induzierten Abbau ist der Abbau von Ozon (O_3) in der Atmosphäre:

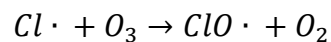
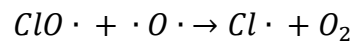
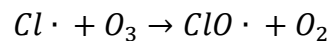
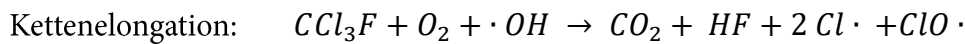
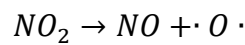
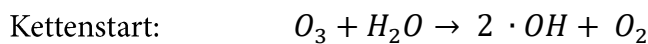


Abbildung 16 - Radikalischer Abbau von Ozon durch FCKWs, die früher häufig Verwendung fanden und maßgeblich zur Entstehung des Ozonlochs beigetragen haben.

Auf ähnliche Weise können auch Farbstoffe und andere organische Moleküle abgebaut werden.

a) In unserer Reaktion dienen insb. Wasser- und Sauerstoffmoleküle, die z.B. durch Verunreinigungen in Ethanol gelöst sind, sowie Hydroxidionen zur Bildung von Radikalen. Stelle eine Reaktionsgleichung zur Radikalbildung für diese drei Moleküle mit den Elektronenfehlstellen im Valenzband (h_{VB}^+) und den zusätzlichen Elektronen im Leitungsband (e_{LB}^-) auf! Welche fungieren als Donatoren, welche als Akzeptoren?

b) Erkläre, wie die Bildung der Radikale mit der Entfärbung der Lösung zusammenhängt!

Dieser Prozess wird Photokatalyse genannt. Erläutere diesen Begriff und erkläre, warum er hier zutrifft. Welcher Stoff fungiert hier als Katalysator?



Tipp: Geh von den Bestandteilen des Wortes aus $\varphi\omega\varsigma$, $\varphi\omega\tau\acute{o}\varsigma$ = Licht und Katalyse. Weitere Informationen zur Katalyse erhältst du auf der **Informationskarte 7**.

8. a) Lies dir den folgenden Text^[9] über die Verwendung von Zinkoxid- und Titandioxid-Nanopartikeln im Alltag durch!

Das wohl bekannteste Beispiel für Nanomaterialien ist die selbstreinigende Oberfläche durch den Lotus-Effekt. Dieses Phänomen wurde dem Lotusblatt nachgeahmt – dieses besitzt auf der Blattoberfläche nanoskalige Wachsmoleküle. Fällt nun ein (polarer) Wassertropfen auf das Blatt,

„gleitet“ er auf diesen (unpolaren) Wachskristallen ab und nimmt dabei sogar noch Schmutzpartikel auf. Dank dieser nanostrukturierten hydrophoben Oberfläche bleibt die Lotuspflanze also sauber.

In der Industrie konnte dieser nützliche Effekt durch die Kombination von stark wasserabweisenden Rohstoffen mit anorganischen Füllstoffen, die ebenfalls eine raue Oberfläche erzeugen, für Fassadenfarben und Putze nachgeahmt werden.

Eine andere Methode zur Nachahmung des Lotus-Effekts wird durch den Einsatz von hydrophilen Partikeln realisiert. Materialien wie Zinkoxid oder Titandioxid sind stark polar. Auf Grund der Polarität der Wassertropfen können diese leicht an kleinen Partikeln dieser Materialien adsorbieren. Es entsteht ein gleich-



mäßiger Wasserfilm, wie in **Abbildung 17 - Selbstreinigende Oberflächen mit Zinkoxid Nanopartikeln** Abbildung 17 gezeigt wird.

Der Wassertropfen wird also nicht wie vorher abgewiesen (hydrophobe Beschichtung/ Lotus-Effekt) sondern stattdessen gleichmäßig verteilt (hydrophile Beschichtung).

Darüber hinaus haben Zinkoxid- und Titandioxid-Nanopartikel weitere nützliche Eigenschaften. Mit diesen können auch selbstreinigende Oberflächen durch den photokatalytischen Effekt erreicht werden. Nanopartikel aus Zink- oder Titandioxid werden dabei durch Sonnenlicht aktiviert und zersetzen organische Schmutzpartikel (z.B. Ruß) und Luftschadstoffe, die sich an der Oberfläche befinden. Die Abbauprodukte können dann durch das nächste Regenwasser abgewaschen werden. Die Oberflächen bleiben sauber und das Wachstum von Bakterien kann zusätzlich gehemmt werden. Es gibt mittlerweile viele Anwendungen, wie z.B. Fassadenbeschichtungen, Pflastersteine, Dachziegel, Fensterscheiben, Glasoberflächen oder Fensterrahmen mit photokatalytischem Effekt.



Abbildung 18 - Verschiedene Beschichtungen im Vergleich

b) Entwickle Möglichkeiten, die photokatalytische Eigenschaft von Zinkoxid Nanopartikeln zu nutzen!



Informiere dich über weitere Alltagsprodukte, die Nanopartikel enthalten! (z.B. unter <http://www.bund.net/nanodatenbank/>)

Reflexionsaufgabe:

Fasse kurz und in eigenen Worten zusammen, was du in diesem Modul gelernt hast. Verwende dafür die Schlagwörter vom Anfang des Moduls!




Modul 4: Alles „nano“ oder was?

In diesem Modul soll es um die Risiken der Nanotechnologie gehen. Dazu soll ein Modellexperiment durchgeführt werden. Zum Abschluss der Einheit sollst du dich in Gruppenarbeit im Rahmen eines WebQuests mit den Eigenschaften und der Verwendung von verschiedenen anderen Nanopartikeln beschäftigen.

Schlagwörter: Titandioxid -, Silica-, Silber- Nanopartikel, Carbon-Nanotubes, Risiken vs. Potential

Führe folgenden Versuch durch!

Versuch 4: Diffusion von Zinkoxid-Nanopartikeln durch n-Octanol

Gefahrstoff	H-Sätze	P-Sätze	Gefahrsymbole
Ethanol	H 225	P 210	
Zinkoxid-Nanopartikel (aus Versuch 1)	H 410	P273	
n-Octanol	H319	P 305+351+338	

n-Octanol besitzt eine der menschlichen Haut vergleichbare Permeabilität (Durchlässigkeit) und Polarität. Es wird daher in pharmakologischen Studien zur Absorption und Verteilung von Wirkstoffen im menschlichen Körper als Modellsystem für diese herangezogen.

Geräte: Ein Reagenzglas, zwei Pasteur-Pipetten, UV-Lampe.

Durchführung: In ein Reagenzglas werden 5 mL der Zinkoxid-Nanopartikellösung gegeben und anschließend mit 3 mL n-Octanol unterschichtet. Dabei sollst du vorsichtig mit der Pasteurpipette die Flüssigkeit auf dem Boden des Reagenzglases entlassen. Die beiden Flüssigkeiten sollten eine klare Grenze aufweisen und sich nicht durchmischen. Achte also darauf, die Pasteurpipette bis auf den Boden des Reagenzglases zu bringen. Daraufhin wird die Verteilung der Zinkoxid-Nanopartikel für 15 Minuten unter UV-Licht beobachtet.

Die Lösung wird nach dem Versuch in ein Abfallgefäß am Lehrerpult gegeben.

2. Notiere und erkläre deine Beobachtungen. Was zeigt dieser Versuch?

Erläutere, was für Risiken du aus deinen Beobachtungen für den Einsatz der Nanopartikel ableiten kannst! Denke dabei an die durch Zinkoxid induzierte Photokatalyse!

Auch Wissenschaftler haben sich über diesen Fakt bereits Gedanken gemacht. Lies dir diesen Text^[10] zur Aufnahme von Zinkoxid-Nanopartikeln über die Haut durch!

Da Zinkoxid (ZnO) -Nanopartikel als UV-Schutz in Sonnencremes und Kosmetika eingesetzt werden, ist die Kenntnis, ob diese Partikel über die Haut aufgenommen werden, sehr wichtig.

Die Größe der Zinkoxid-Nanopartikel, die für Sonnenschutzmittel verwendet werden, liegt zwischen 20 bis 60 nm. Die sehr kleinen Zinkoxid-Nanopartikel werden jedoch vor der Zugabe zu den Sonnenschutzmitteln zusätzlich mit Silizium- oder Aluminiumoxid beschichtet. Sie ballen sich anschließend zu Verbänden (Aggregaten) einer Größe von 200-500 nm zusammen.

Untersuchungen der Industrie als auch unabhängige Studien, die im Rahmen des EU-Projektes NanoDerm durchgeführt wurden, zeigten, dass diese Partikel aus Sonnenschutzprodukten nicht durch die gesunde Haut in den Körper gelangen und somit keine gesundheitlichen Risiken für den Verbraucher bestehen. Bisherige Studien wurden jedoch meistens am Tiermodell oder in Zellkulturen durchgeführt.

Eine neue Studie, in der Zinkoxid-Nanopartikelhaltige Sonnencreme unter realitätsnahen Bedingungen am Menschen getestet wurde, hat nun jedoch kleine Mengen von diesem markierten Zink im Blut und Urin gemessen^[3]. Diese betrug aber nur 1/1000 der im Blut bereits natürlich vorhandenen Zink-Konzentration. Auch ist noch nicht klar, ob Zink als Zinkoxid-Nanopartikel oder als gelöste Zink-Ionen über die Haut aufgenommen wurde.

Infos dazu aus dem Bundesgesetz (Stand 2010):

In der Ausgabe des Bundesgesetzblatts Teil I, Nr. 66 vom 22.12.2010 erschien die 56. Verordnung zur Änderung der Kosmetik-Verordnung^[4]. Folgender Inhalt ist hier bemerkenswert.

Satz 1 wird wie folgt gefasst: *"Die Verwendung von beschichtetem mikrofeinem Zinkoxid bis zu einer Höchstmenge von 25 % als UV-Filter ist bis zum Ablauf des 31. Dezember 2011 gestattet."*

Nach Satz 1 wird folgender **Satz 2** eingefügt: *"Eine Verwendung in treibmittel-basierten Sprays ist nicht gestattet."*

5. WebQuest

Wir hoffen, dass die Bearbeitung des Skripts dir viel Freude gemacht hat. Zum Abschluss sollst du in der folgenden WebQuest mehr über die Verwendung von Nanopartikeln in Alltagsprodukten und deren Risiken erfahren. Gehe dazu auf

<http://unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/wip/nanomaterialien/index.html>

und folge den Anweisungen auf dem Bildschirm. Eure Lehrkraft wird eure Experimentiergruppe einem der vier Themengebiete zuordnen. Viel Erfolg!

Informationskarte 1: Nano als Größe

zu Teil 2, Aufgabe 4:

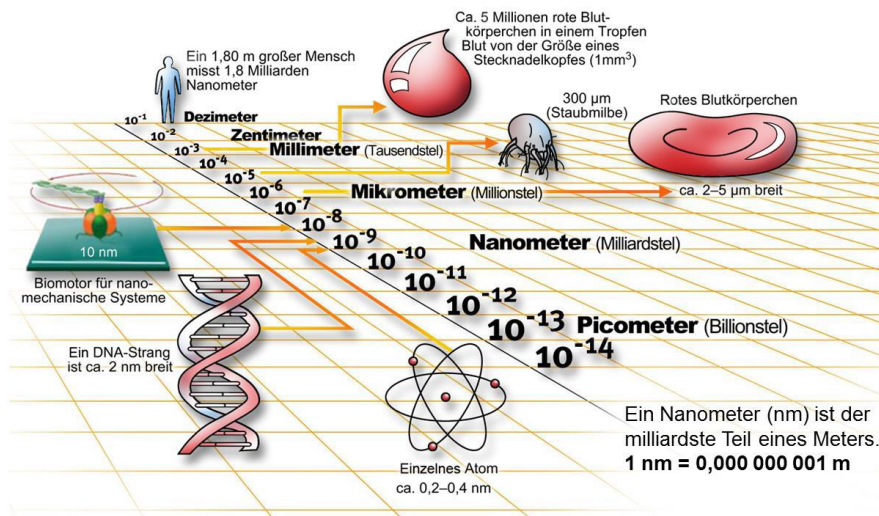


Abbildung 1 - Verschiedene Gegenstände im erweiterten Nanobereich

zu Teil 3, Aufgabe 1:

Hinweise zur Aufstellung der Formel

1. Die Teilung ist keine Variable und wird als n in der Formel bezeichnet.
2. Die Gesamtoberfläche setzt sich zusammen aus den Oberflächen der einzelnen Würfel, d.h. aus deren Summe. Die Anzahl der Würfel muss also mit der Oberfläche eines Würfels multipliziert werden, da ja jeder Würfel gleich groß ist. Dies ergibt dann die Gesamtoberfläche.
3. Betrachten wir zunächst die Anzahl der Würfel (= X). Aus der Tabelle kannst du entnehmen, dass diese pro Teilung (= n) exponentiell ansteigt – der Term sollte also in etwa so lauten: X^n . Überlege um welchen Faktor diese sich jeweils erhöht und füge diesen für X ein!
4. Nun wenden wir uns der Oberfläche jedes Würfels zu. Diese setzt sich aus den einzelnen Flächeninhalten der Würfelseiten zusammen bzw. aus der Summe aller Seitenflächen des Würfels. Die Anzahl der Seiten multipliziert man nun mit der Fläche der Seiten, da auch diese alle gleich groß sind. Damit erhält man die Oberfläche des Würfels. Überlege, wie viele Seiten der Würfel hat, und füge dies in die Formel ein!
5. Die Fläche der Seiten ergibt sich aus der Multiplikation der beiden Kantenlängen $a \cdot a = a^2$. Die Kantenlängen (= Y) verändern sich jedoch pro Teilung (= n) konstant. Auch dieser Wert verhält sich exponentiell: Y^n . Fügt man dies in die Flächeninhaltsformel ein ergibt sich $(Y^n)^2$. Überlege mit welchem Faktor sich die Kantenlänge pro Teilung verändert und füge diesen für Y ein!
6. Setze alles zusammen!

1. n = Teilung; $n=1$ steht für die erste Teilung, $n=2$ steht für die zweite Teilung, etc.

2. **Gesamtoberfläche** = (*Anzahl der Würfel*) · (*Oberfläche eines Würfels*)
3. **Gesamtoberfläche** = X^n · (*Oberfläche eines Würfels*)
4. **Gesamtoberfläche** = X^n · ([*Anzahl der Seiten*] · [*Fläche einer Würfelseite*])
5. **Gesamtoberfläche** = X^n · ([*Anzahl der Seiten*] · [(Y^n)²])

Informationskarte 2: Oberfläche bei chemischen Reaktionen

Die Oberfläche spielt eine wichtige Rolle bei chemischen Reaktionen und physikalischen Prozessen. Nur an den an der Oberfläche des Stoffes gelegenen Molekülen findet ein Austausch mit der Umgebung statt und damit die eigentliche chemische Reaktion. Grob gesagt gilt: Je mehr Oberfläche, desto mehr Möglichkeiten zur Interaktion. Ein einfaches und anschauliches Beispiel ist das Auflösen von Zucker: Ein Zuckerwürfel löst sich wesentlich langsamer im Wasser als grober Kandiszucker derselben Masse. Feiner Zucker löst sich jedoch am schnellsten.



Abbildung 2 - a) Zuckerwürfel, b) Kandiszucker und c) feiner Zucker

Oberflächenatome

Stellt euch ein Ionengitter vor, in dem Anionen und Kationen in einem bestimmten Verhältnis koordiniert sind, um ein Kation (in Abb. 3 grün) liegen zum Beispiel vier Anionen (in Abb. 3 rot) in tetraedischer Anordnung. Mitten im Gitter kann diese Koordinationszahl durchgehend gehalten werden, an der Oberfläche jedoch kann das Kation nur von innen und den Seiten von Anionen umgeben werden, da sich

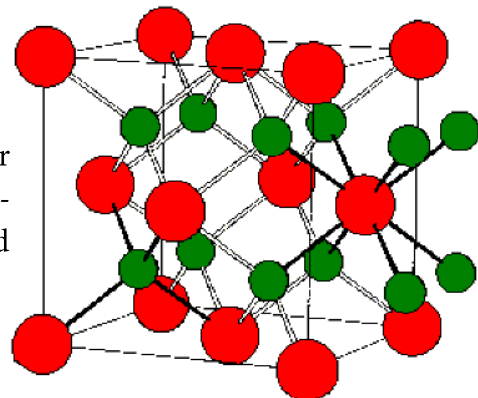


Abbildung 3 - Darstellung eines Ionengitters

Anionen und Kationen in einer Gitterreihe immer abwechseln müssen. Die Kationen und Anionen an der Oberfläche fehlt eine Koordinationsstelle, sie sind nicht gesättigt. Dort liegen freie d.h. ungebundene Elektronen vor. Dieser Zustand ist energetisch ungünstiger. Diese Atome befinden sich dadurch auf einem leicht höheren Energieniveau. Besonders an Ecken und Kanten ist dieser Zustand sehr ausgeprägt.

Informationskarte 3: Fällungsreaktionen

Eine Fällungsreaktion beschreibt in der Chemie eine Reaktion, bei der durch Veränderung des Löslichkeitsgleichgewichts ein bereits gelöster Stoff als Feststoff ausfällt. Entweder wird die Löslichkeit einer im Wasser gelösten Verbindung durch Verringerung der Temperatur herabgesetzt oder es bildet sich durch Zugabe eines weiteren Stoffes ein schwer- oder unlösliches Produkt. Der Ausfall dieses Produkts, d.h. der Niederschlag wird in der chemischen Reaktion durch ein ↓ gekennzeichnet.

Beispielreaktion:

Die Fällung von Bariumsulfat aus einer Bariumchloridlösung:



Durch Zugabe von Schwefelsäure (H_2SO_4) zu Bariumchloridlösung bildet sich das schwerlösliche Bariumsulfat, welches als Niederschlag sichtbar wird (eine Synthesereaktion zur Herstellung von „Malerweiß“).

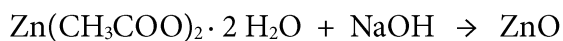
Hinweise zur Aufstellung der Reaktionsgleichung

1. Bestimme zunächst alle Stoffe/Chemikalien die an der Reaktion beteiligt sein könnten!
2. Überlege nun, welche Stoffe nur als Lösungsmittel dienen und vermutlich nicht mitreagieren!
3. Schreibe die Edukte mit ihrer chemischen Formel auf die linke Seite und überlegt, was das Produkt sein könnte. Denke dabei an den Einleitungstext der Einheit/ die Überschrift des Versuchs!
4. Bedenke, dass es sich bei den Stoffen um Salze handelt, die im Wasser Ionen bilden!
5. Gleiche nun beide Seiten stöchiometrisch aus!

Erweiterte Hinweise

1. Zinkacetatdihydrat, Natriumhydroxid und Ethanol sind die verwendeten Chemikalien.
2. Ethanol dient dabei nur als Lösungsmittel
3. $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + \text{NaOH} \rightarrow$

Der Versuch dient der Herstellung von Zinkoxid Nanopartikeln, also:



Die vorliegenden Ionen sind Zn^{2+} , CH_3COO^- , Na^+ und OH^-

Informationskarte 4: Fluoreszenz und Phosphoreszenz

Viele Gegenstände strahlen in leuchtenden Farben, jedoch erst dann, wenn sie mit energiereicher Strahlung, beispielweise mit UV-Licht angestrahlt werden. Die Leuchtfarben sind im Licht der UV-Lampe aber nicht enthalten, sondern entstehen in dem leuchtenden Stoff. Dieser wandelt UV-Licht in sichtbares Licht um und strahlt dieses aus. Es handelt sich also um Prozesse der **Lichtabsorption und -emission**.

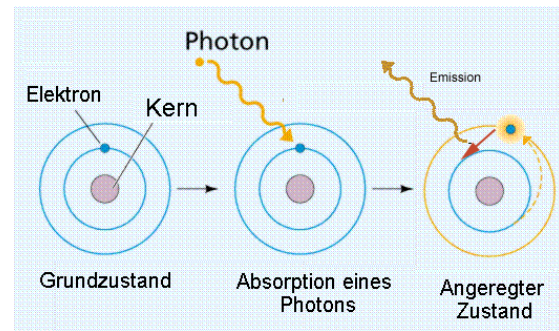


Abbildung 4 - Anregung eines Elektrons

Allgemein bezeichnet man diesen Prozess als **Lumineszenz** oder als kaltes Leuchten (kaltes Leuchten, da die Lichtemission nicht durch Erhitzen oder Glühen hervorgerufen wird). Man unterscheidet zwei Prozesse: **Fluoreszenz und Phosphoreszenz**. Bei der Fluoreszenz (siehe Abb. 5) ist die Lichtemission nur solange sichtbar, wie die Lichteinstrahlung erfolgt. Bei der Phosphoreszenz (siehe Abb.6) ist das Leuchten auch nach Beenden der Lichteinstrahlung noch sichtbar. In beiden Fällen werden dabei Elektronen aus dem Grundzustand in einen angeregten energetischen Zustand versetzt. Beim Zurückfallen in den Grundzustand wird dann das Licht emittiert, was wir als Strahlen beobachten können (siehe Abb. 4).

Abbildung 5 - Verschiedene fluoreszierende Farbstoffe unter UV-Licht

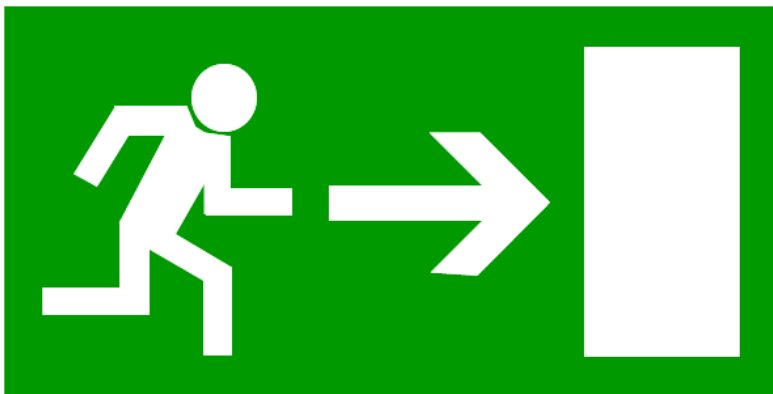


Abbildung 6 - Notausgangsschilder phosphoreszieren auch im Dunkeln, um den Weg zu weisen

Informationskarte 5: Spektrum des Lichts

Weißes Licht setzt sich zusammen aus dem Licht verschiedenster Farben. Dies kannst du sehr gut beobachten, wenn du Sonnenlicht an einem Prisma oder einem anderen dreidimensionalen Glaskörper brichst:

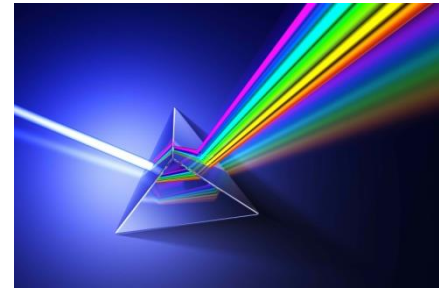


Abbildung 7 - Prisma, an dem sich das Sonnenlicht bricht

Diese Farben sind unterschiedlich energiereich. Bestimmt hast du schon mal etwas von Infraroter (IR) und Ultravioletter (UV) Strahlung gehört. Sie bilden die beiden Extreme des sogenannten **kontinuierlichen Spektrums** des Lichts. Infrarot Licht ist dabei energiearm, es wird zum Beispiel in Fernbedienungen zum Anschalten von Elektrogeräten verwendet. Ultraviolettes Licht ist energiereich, vor dieser Strahlung schützt du dich mit Sonnencreme.

Licht muss man sich als elektromagnetische Strahlung vorstellen. Es lässt sich modellhaft in Wellenform darstellen. Die verschiedenen Farben des Lichts werden demnach nach ihrer sogenannten Wellenlänge geordnet. Die Wellenlänge wird in Nanometern (nm) gemessen und beschreibt den Abstand zwischen den Wellenbergen. Je weiter entfernt die Wellenberge voneinander sind, d.h. je größer die Wellenlänge desto energieärmer ist das Licht und umgekehrt.

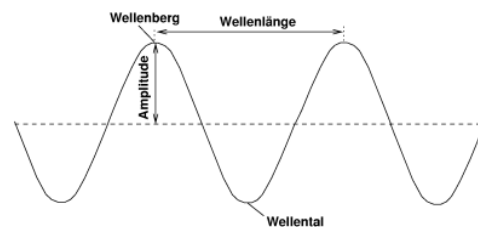


Abbildung 8 – Darstellung einer Lichtwelle

Infrarot-Strahlung, die energiearm ist, besitzt daher eine relativ große Wellenlänge (ca. 780 nm bis 1mm), die energiereiche Ultraviolett-Strahlung eine geringe Wellenlänge (ca. 380 bis 100 nm). Beide Strahlungen können vom menschlichen Auge jedoch nicht wahrgenommen werden: Der sichtbare Bereich liegt ungefähr zwischen 400 und 700 nm. Hier siehst du nun einen Überblick des Lichtspektrums mit Angabe der Wellenlängen:

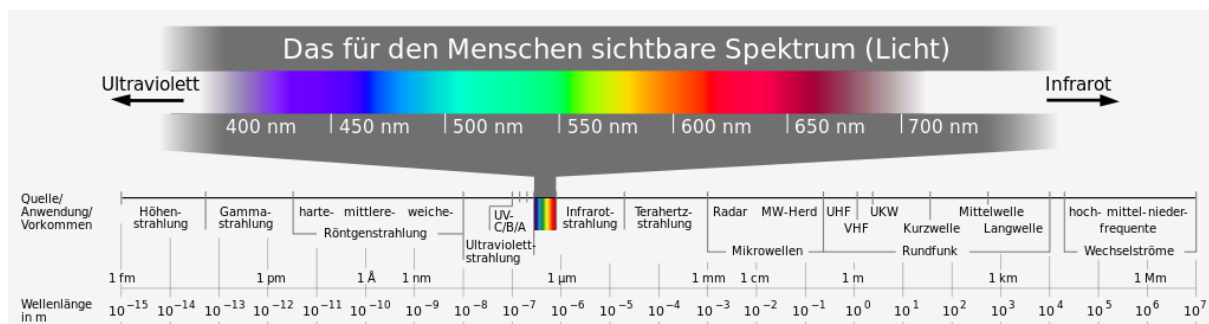


Abbildung 9 - kontinuierliches Spektrum des Lichts

Informationskarte 6: Das Bändermodell

In einem Metall liegen die Atome sehr eng und geordnet beieinander ähnlich wie im Ionengitter bei den Salzen. Metalle bilden ein Raster aus sogenannten Atomrümpfen, das heißt Kationen: In einem Metall liegen die Valenzelektronen frei verteilt vor, sie sind delokalisiert, man spricht auch von einem Elektronengas. Sie sind durch elektrostatische Anziehung immer noch an die Atomrümpfe gebunden, können sich jedoch innerhalb von diesen frei bewegen.

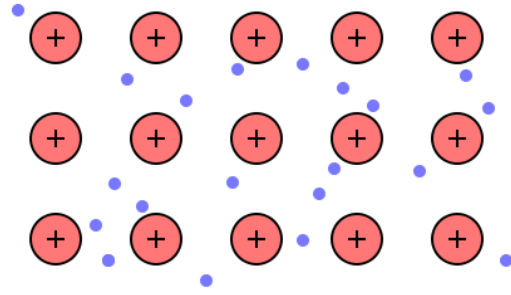


Abbildung 10 - Positive Atomrümpfe umgeben von frei beweglichen Elektronen

Die Atomrümpfe und deren Schalen ebenso wie die Kationen und Anionen im Kristall kann man auf Grund ihrer hohen Dichte als eine Aneinanderreihung all dieser Schalen in einem langen Molekül beschreiben. Man nennt diese Bänder, die eine Art Kette der energetischen Zustände der Teilchen darstellen. Einige von ihnen sind mit den Valenzelektronen besetzt. Diese nennt man Valenzband, welches aus den Außenschalen der einzelnen Atome gebildet wird. Die höheren Bänder sind nicht besetzt, sie nennt man Leitungsband. Sie bestehen aus den leeren Hüllen, die noch weiter als die äußersten Schalen vom Kern entfernt liegen. In diese werden Elektronen bei Anregung überführt und fallen aus diesen wieder zurück in die äußerste Schale (vgl. Modul 2, Fluoreszenz).

Mit diesem Bändermodell lassen sich nun die Eigenschaften von Leitern, Halbleitern und Isolatoren erklären. Bei Leitern liegen Valenz- und Leitungsband eng aneinander, die Elektronen können sich unter geringem Energieaufwand frei zwischen diesen bewegen. In Halbleitern gibt es eine sogenannte Bandlücke, die die beiden Bänder trennt. Das bedeutet, dass zusätzlich Energie aufgewendet werden muss, um diese ins Leitungsband zu überführen. Diese kann durch Lichtenergie oder Erhitzen geliefert werden. Dabei entsteht ein sogenanntes Elektron-Loch-Paar (vgl. Modul 3). In Isolatoren oder Nichtleitern ist die Bandlücke zu groß, als dass sie durch Energiezufuhr überwunden werden kann.

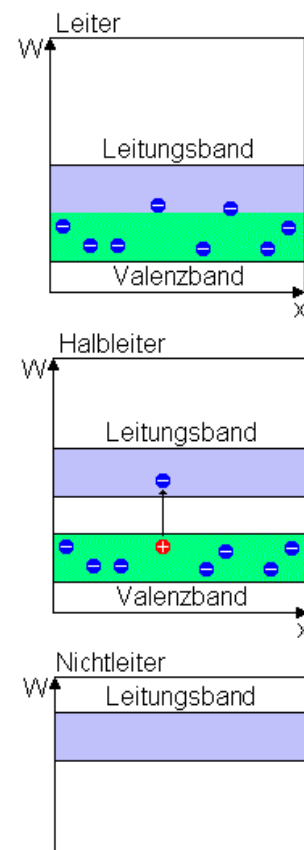


Abbildung 51 - Leiter, Halbleiter und Nichtleiter/Isolator im Bändermodell

Informationskarte 7: Katalyse

Mit Katalyse wird die Beschleunigung einer Reaktion durch Zugabe eines Katalysators bezeichnet. Der Katalysator sorgt für ein Absenken der Aktivierungsenergie. Daher wird nicht das chemische Gleichgewicht der Reaktion verändert sondern nur dessen Einstellung beschleunigt. Dies funktioniert über die Herstellung einer energetisch günstigeren Zwischenstufe. Der Katalysator reagiert dabei mit dem Substrat. Dieser Katalysator-Substrat-Komplex reagiert dann mit dem anderen Edukt zum eigentlichen Produkt der Reaktion. Der Katalysator liegt damit am Ende wieder unverändert vor.

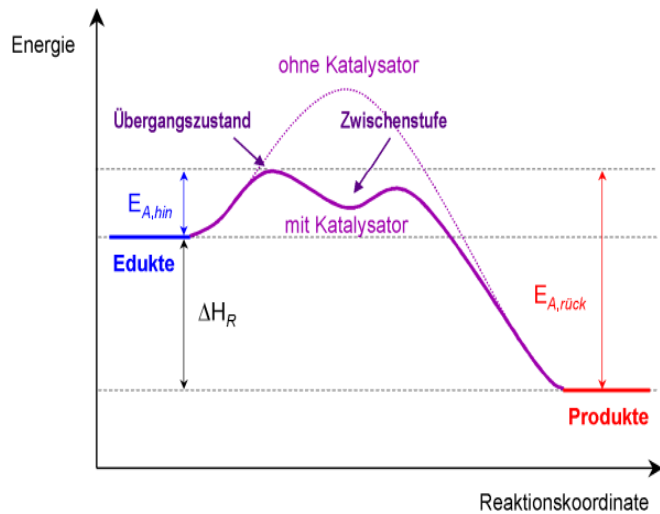


Abbildung 12 - Energiediagramm einer Reaktion mit Katalysator

Ein typisches Beispiel sind Enzyme. Durch Andocken der Substrate an das aktive Zentrum entsteht ein Übergangszustand, der Enzym-Substrat-Komplex. Im Anschluss werden die beiden Produkte zusammengeführt und der Katalysator steht für weitere Reaktionen zur Verfügung.

Als Katalysator können verschiedene Stoffe dienen. Die Katalysen werden nach Art des Katalysators (Biokatalyse, Photokatalyse) und nach beteiligten Phasen (homogene/heterogene Katalyse) eingeteilt.

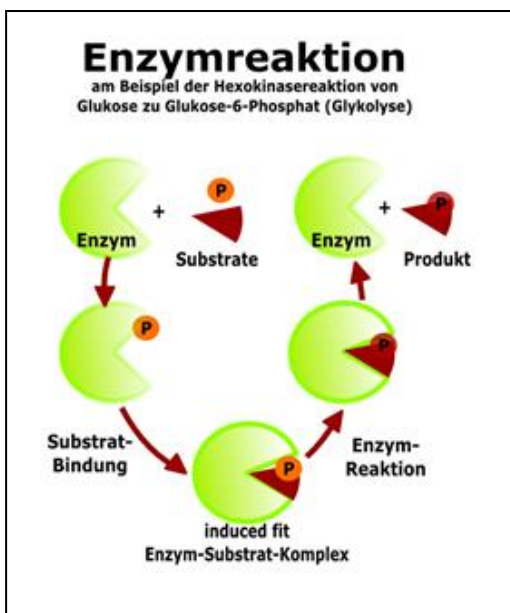


Abbildung 13 - Biokatalyse durch Enzyme

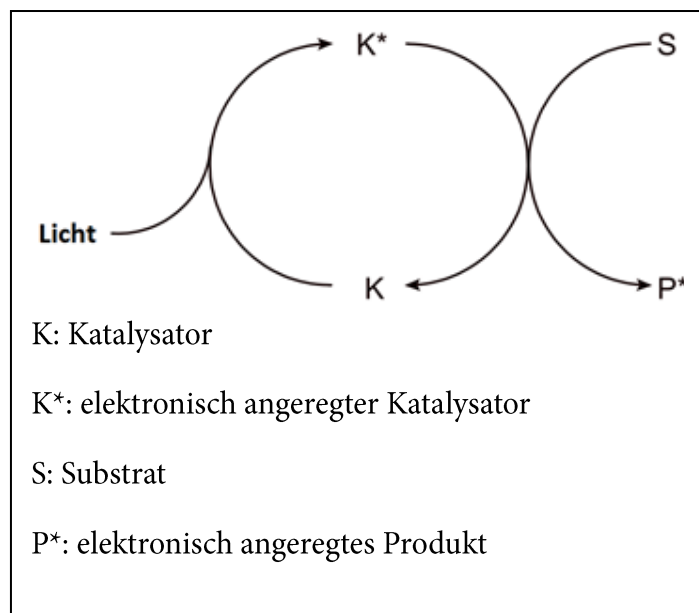


Abbildung 14 - Durch Licht induzierte Katalyse

Quellenverzeichnis

Module

Abbildungen

Abbildungen Titelblatt:

Photokatalyse: <http://tu-freiberg.de/fakult4/iec/rt/img/Bild1.png> abgerufen am 04.09.14.

Nanopartikel: http://www.scinexx.de/redaktion/wissen_aktuell/bild6/nanopartikel2g.jpg abgerufen am 10.06.14.

Synthese von Zinkoxid-Nanopartikeln: <http://www.youtube.com/watch?v=oltvEbInkWY> abgerufen am 04.09.14.

Cadmiumselenid: Becht, Saskia; Ernst, Susanne; Bappert, Reiner; Feldmann, Claus (2010): Nanomaterialien zum Anfassen. Do-it-yourself ! In: *Chem. Unserer Zeit* 44 (1), S. 14–23.

Abbildung 1 <http://www.apple.com/de/ipod-nano/> abgerufen am 03.06.14.

Abbildung 2 <http://www.tatanano.com/> abgerufen am 03.06.2014.

Abbildung 3 <http://www.dermaividuals.de/deutsch/praeparate/dermaividuals-modular/wirkstoffkonzentrate/nanopartikel/coenzym-q10-nanopartikel.html> abgerufen am 03.06.2014.

Abbildung 4 <http://www.nanomagic.info/auto--motorrad/3-x-nano.php> abgerufen am 25.08.14.

Abbildung 5 <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Reformprojekte/hightech-strategie-2007-06-20-was-ist-nanotechnologie-4-1.html> abgerufen am 08.06.14.

Abbildungen Zahlenstrahl:

Nanopartikel: http://www.scinexx.de/redaktion/wissen_aktuell/bild6/nanopartikel2g.jpg abgerufen am 10.06.14.

Kingdom Tower: modifiziert nach http://sargasso.nl/wp-content/uploads/2014/06/Kingdom_Tower_Jeddah_render.jpg abgerufen am 11.06.14.

Haarknoten: http://www.rieder-heinz.ch/haar/haar_glatt.jpg abgerufen am 10.06.14.

Zimmer: modifiziert nach <http://images.onlinemathe.de/images/fragenbilder/images/3dd2021d2e43a6bd937a86ab95054024.jpg> abgerufen am 10.06.14.

Ameise: <http://www.schoepfung.eu/fileadmin/win/sc/dateien/6/weitere/ameise.jpg> abgerufen am 10.06.14.

Abbildungen Tabelle:

Haar: modifiziert nach http://www.kinder-hd-uni.de/vulkane/Moritzs_Haar.jpg abgerufen am 11.06.14.

Staubmilbe: <http://img.welt.de/img/literarischewelt/crop112661317/0048723644-ci3x2l-w620/102660448.jpg> abgerufen am 11.06.14 abgerufen am 11.06.14.

Blutstropfen: modifiziert nach http://www.duden.de/_media_/full/B/Blutstropfen-201020541073.jpg abgerufen am 11.06.14.

Atom: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e2/Stylised_Lithium_Atom.png/200px-Stylised_Lithium_Atom.png abgerufen am 11.06.14.

Blutkörperchen: <http://www.apotheken-umschau.de/multimedia/241/212/207/35901276177.jpg> abgerufen am 11.06.14

DNA: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e7/DNA_simple.svg/220px-DNA_simple.svg.png abgerufen am 11.06.14.

Abbildung 6 T. Wilke, T. Waitz: 'NANO' – An Attractive Dimension for School Chemistry Education (*New Perspectives in Science Education, Florenz, 2014*)

Abbildung 7 T. Wilke, S. Gerke, T. Waitz (2013): Kleine Würfel, große Oberflächen – Ein Modellexperiment, *MINTZirkel*, 2 (3), S. 8-9.

Abbildung 8 T. Wilke, T. Waitz: 'NANO' – An Attractive Dimension for School Chemistry Education (*New Perspectives in Science Education, Florenz, 2014*)

Abbildung 9 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/NaCl_polyhedra.png abgerufen am 26.08.14.

Abbildung 10 und 11 <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier006.pdf> abgerufen am 15.06.14.

- Abbildung 12** Becht, Saskia; Ernst, Susanne; Bappert, Reiner; Feldmann, Claus (2010): Nanomaterialien zum Anfassen. Do-it-yourself ! In: *Chem. Unserer Zeit* 44 (1), S. 14–23.
- Abbildung 13** http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/disido_cy/de/exp/exp_pics/bld_ver_07/tensid.gif abgerufen am 27.08. 2014.
- Abbildung 14** Becht, Saskia; Ernst, Susanne; Bappert, Reiner; Feldmann, Claus (2010): Nanomaterialien zum Anfassen. Do-it-yourself ! In: *Chem. Unserer Zeit* 44 (1), S. 14–23.
- Abbildung 15** <http://www.halbleiter.org/grundlagen/leiter/> abgerufen am 14.08.14.
- Abbildung 16** nach: http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/ozon/abbau_fckw_v.gif abgerufen am 28.08.14.
- Abbildung 17** <http://www.baulinks.de/webplugin/2004/i/0192sgg3.jpg> abgerufen am 01.09.14.
- Abbildung 18** <http://www.energieheld.de/files/selbstreinigendes-glas-fenster.png> abgerufen am 05.10.14

B. Texte

- [1] modifiziert nach: http://de.wikipedia.org/wiki/Tata_Nano abgerufen am 03.06.14.
- [2] modifiziert nach: <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier006.pdf> abgerufen am 15.06.14.
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Ostwald-Reifung> abgerufen am 04.09.14.
- [4] modifiziert nach: <http://de.wikipedia.org/wiki/Nanoteilchen#Halbleiter> abgerufen am 20.06.14.
- [5] Becht, Saskia; Ernst, Susanne; Bappert, Reiner; Feldmann, Claus (2010): Nanomaterialien zum Anfassen. Do-it-yourself ! In: *Chem. Unserer Zeit* 44 (1), S. 14–23.

- [6] <http://www.ipat.tu-bs.de/forschung/arbeitsgruppen/ag-nanopartikel-und-nanokomposite/nanoparticles-nanocomposites/partikelstabilisierung-und-funktionalisierung/functionalization> abgerufen am 27.08.14.
- [7] http://www.mvt.ovgu.de/mvt_media/Vorlesungen/VO_GPVT/Folien_GPVT_4.pdf abgerufen am 27.08.14.
- [8] Becht, Saskia; Ernst, Susanne; Bappert, Reiner; Feldmann, Claus (2010): Nanomaterialien zum Anfassen. Do-it-yourself! In: *Chem. Unserer Zeit* 44 (1), S. 14–23.
- [9] http://www.nano.dguv.de/fileadmin/.../Nano-Materialien_in_der_Bauwirtschaft.pdf abgerufen am 18.08.14.
- [10] <http://www.nanopartikel.info/nanoinfo/materialien/zinkoxid/aufnahme-zinkoxid/1068-aufnahme-ueber-die-haut-dermal> abgerufen am 26.08.14

Informationskarten

- Abbildung 1** https://www.vci.de/Downloads/Nanomaterialien_Textheft.pdf abgerufen am 10.06.14.
- Abbildung 2 a)** http://i00.i.aliimg.com/photo/v0/109130554/Sugar_Cubes.jpg abgerufen am 08.07.14.
- Abbildung 2 b)** http://www.evas-teeplantage.de/media/catalog/product/cache/1/image/715x400/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/K/a/Kandis-Zucker-weisse-Kluntinchen_2.jpg abgerufen am 08.07.14.
- Abbildung 2 c)** http://www.duden.de/_media_/full/Z/Zucker-201100281165.jpg abgerufen am 08.07.14.
- Abbildung 3** http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/alkalimetall_verb2/antifluorit.gif abgerufen am 22.09.14
- Abbildung 4** <http://www.biokurs.de/skripten/bilder/Anreg2.GIF> abgerufen am 12.08.2014.
- Abbildung 5** http://www.atto-tec.com/uploads/tx_wsflexslider/Fluorescence-4-colour_553x225.jpg abgerufen am 12.08.2014.
- Abbildung 6** <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/phosphoreszenz/fluchtschildhell.gif> abgerufen am 12.08.2014.
- Abbildung 7** http://4.bp.blogspot.com/-qWPZBBI-KOx4/UXr7H4kv3JI/AAAAAAAAAzI/cnkmFvjPYhQ/s1600/Seele_und_Ego.jpg abgerufen am 22.07.14.

- Abbildung 8** <http://www.elmar-baumann.de/fotografie/techtutorial/abbildungen/welle.gif> abgerufen am 22.07.14.
- Abbildung 9** http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/15/Electromagnetic_spectrum_c.svg/1024px-Electromagnetic_spectrum_c.svg.png abgerufen am 22.07.14.
- Abbildung 10** http://de.wikipedia.org/wiki/Metallische_Bindung#mediaviewer/File:Nuvola_di_elettroni.svg abgerufen am 29.09.14.
- Abbildung 11** modifiziert nach: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fd/B%C3%A4ndermodell.PNG> abgerufen am 29.09.14.
- Abbildung 12** http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ch/4/cm/kinetik/bilder/profil_2.gif abgerufen am 19.08.14.
- Abbildung 13** https://www.abiweb.de/assets/courses/img/biologie-stoffwechsel/Ablauf_Enzymreaktion.png abgerufen am 19.08.14.
- Abbildung 14** http://de.wikipedia.org/wiki/Photokatalyse#mediaviewer/Datei:Photoassistierte_katalytische_reaktion.svg abgerufen am 19.08.14.

A3.6 Projekt 2: Pre-Test zur Unterrichtseinheit

Fragebogen zur „Unterrichtseinheit Nano“

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

in den nächsten Stunden werden wir uns in einer Unterrichtseinheit mit dem Thema „Nano“ beschäftigen. Es handelt sich dabei um einen Oberbegriff für die Nanotechnologie und Nanomaterialien, welche in Wissenschaft und Technik einen immer größeren Stellenwert einnehmen. Bevor wir beginnen, möchten wir gerne wissen, was du schon im Vorfeld zu diesem Thema weißt. Bitte beantworte dazu die folgenden sechs Fragen. Die Erkenntnisse werden natürlich nicht benotet oder auf andere Weise in die Bewertung eingehen.

Bevor du beginnst, trage bitte deinen persönlichen Identifikationscode in das unten stehende Feld ein. Dieser setzt sich zusammen aus:

1. ... den ersten drei Buchstaben des Vornamens eurer Mutter (Beispiel: Inga → ING)
2. ... den ersten zwei Ziffern eures Geburtstages (Beispiel: 24.08.1997 → 24)
3. ... den ersten drei Buchstaben eures Geburtsortes (Beispiel: Göttingen → GÖT)

(Daraus ergibt sich im Beispiel der persönliche Identifikationscode ING24GÖT)

Dein persönlicher Identifikationscode: _____

1. Beschreibe bitte, was du dir unter dem Begriff „Nano“ vorstellst. Fertige ggf. zusätzlich eine Zeichnung an.

2.a Beschreibe möglichst genau, welchen Größenbereich die Nanodimension umfasst.

2.b Ordne die folgenden Objekte der Größe nach an, beginnend bei dem Kleinsten: Elektron, Nanopartikel, Haselnuss, Haar, Atom.

← kleiner

größer →

3. Nenne und erläutere Möglichkeiten, wie Nanomaterialien hergestellt werden können. Führe – wenn möglich – auch konkrete Beispiele an.

4. Nenne verschiedene Bereiche, in denen Nanomaterialien eingesetzt werden und beschreibe nach Möglichkeit ihre Funktion.

5. Beurteile den zunehmenden Einsatz von Nanotechnologie und Nanomaterialien.

6. Wie schätzt du deine Kenntnisse zu “Nano” ein?

sehr viele *viele* *wenige* *keine*

7. Das Wichtigste, was ich zum Thema „Nano“ weiß, ist ...

8. Worüber würdest du gerne mehr erfahren?

A3.7 Projekt 2: Post-Test zur Unterrichtseinheit

Fragebogen zur „Unterrichtseinheit Nano“

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

in den letzten Stunden haben wir uns mit dem Thema „Nano“ beschäftigt. Um die Unterrichtseinheit weiter zu verbessern bitten wir dich, die folgenden sechs Fragen zu beantworten. Die Ergebnisse werden natürlich nicht benotet oder auf andere Weise in die Bewertung eingehen.

Bevor du beginnst, trage bitte erneut deinen persönlichen Identifikationscode in das unten stehende Feld ein. Dieser setzt sich zusammen aus:

1. ... den ersten drei Buchstaben des Vornamens eurer Mutter (Beispiel: Inga → ING)
2. ... den ersten zwei Ziffern eures Geburtstages (Beispiel: 24.08.1997 → 24)
3. ... den ersten drei Buchstaben eures Geburtsortes (Beispiel: Göttingen → GÖT)

(Daraus ergibt sich im Beispiel der persönliche Identifikationscode ING24GÖT)

Dein persönlicher Identifikationscode: _____

1. Wie schätzt du deine Kenntnisse zu “Nano” ein?

sehr viele *viele* *wenige* *keine*

2. Nenne und erläutere Möglichkeiten, wie Nanomaterialien hergestellt werden können. Führe – wenn möglich – auch konkrete Beispiele an.

3. Nenne verschiedene Bereiche, in denen Nanomaterialien eingesetzt werden und beschreibe nach Möglichkeit ihre Funktion.

4.a Beschreibe möglichst genau, welchen Größenbereich die Nanodimension umfasst.

4.b Ordne die folgenden Objekte der Größe nach an, beginnend bei dem Kleinsten: Elektron, Nanopartikel, Haselnuss, Haar, Atom.

← kleiner

größer →

5. Beurteile den zunehmenden Einsatz von Nanotechnologie und Nanomaterialien.

6. Beschreibe bitte, was du dir unter dem Begriff „Nano“ vorstellst. Fertige ggf. zusätzlich eine Zeichnung an.

7. Das Wichtigste, was ich zum Thema „Nano“ gelernt habe, ist ...

8. Worüber hättest du gerne mehr erfahren?

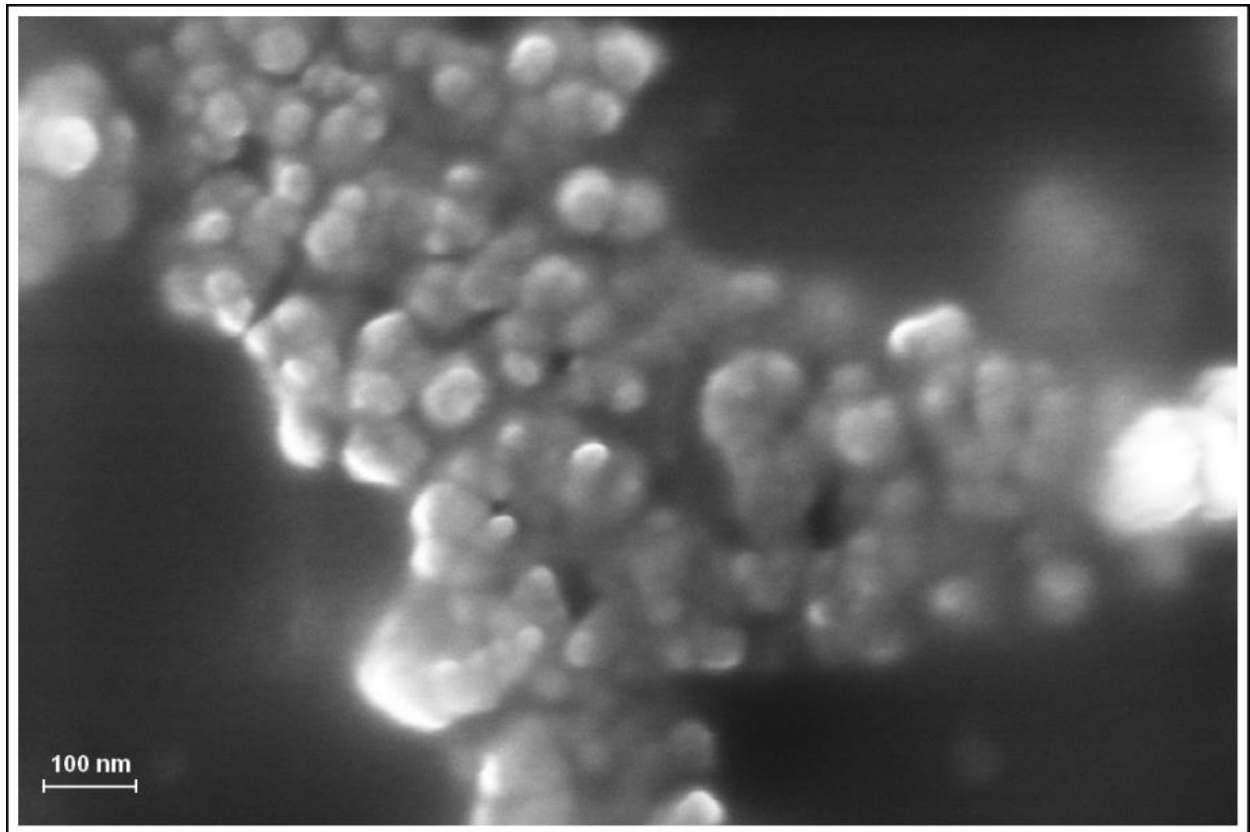
9. Was hat dir an der Unterrichtseinheit ...

... gut gefallen?	... nicht so gut gefallen?
-------------------	----------------------------

A3.8 Exemplarische Datensätze zum Einsatz im Chemieunterricht ³

Bestimmung der Partikelgröße mittels REM

A-Abb. 11 zeigt eine repräsentative rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Titandioxid-Partikeln, welche aus Sonnencreme isoliert wurden. Mithilfe dieser Aufnahme kann die Partikelgröße grafisch bestimmt werden. Dazu werden die Partikel mit einem Lineal vermessen und in Bezug zum Maßstabsbalken (sog. scale bar) gesetzt.

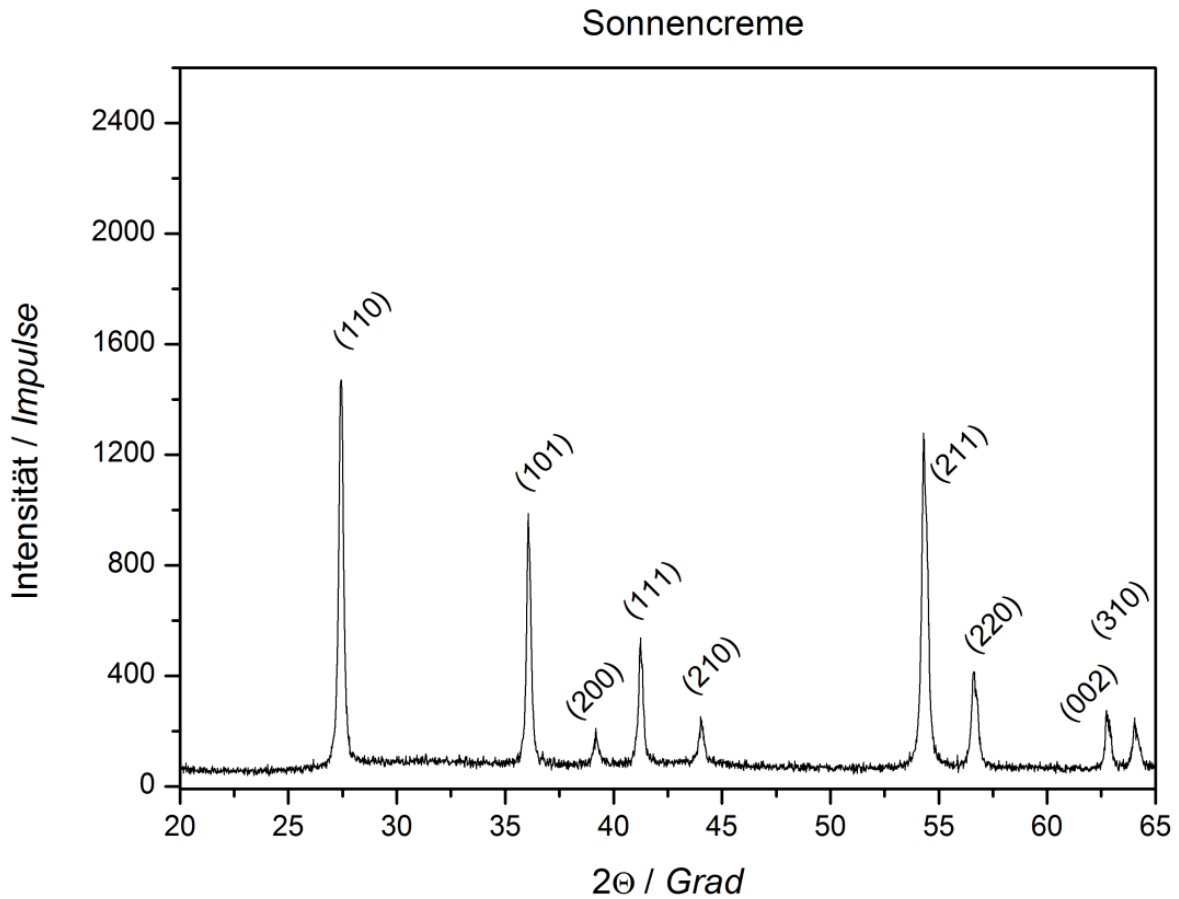


A-Abb. 11 – Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme zur Bestimmung der Partikelgröße.

³ Die Inhalte von Kap. A3.8 wurden vom Autor zusätzlich in der Fachzeitschrift PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN – CHEMIE IN DER SCHULE ^[3] veröffentlicht. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags (siehe A4) wurden ausgewählte Inhalte und Abbildungen übernommen.

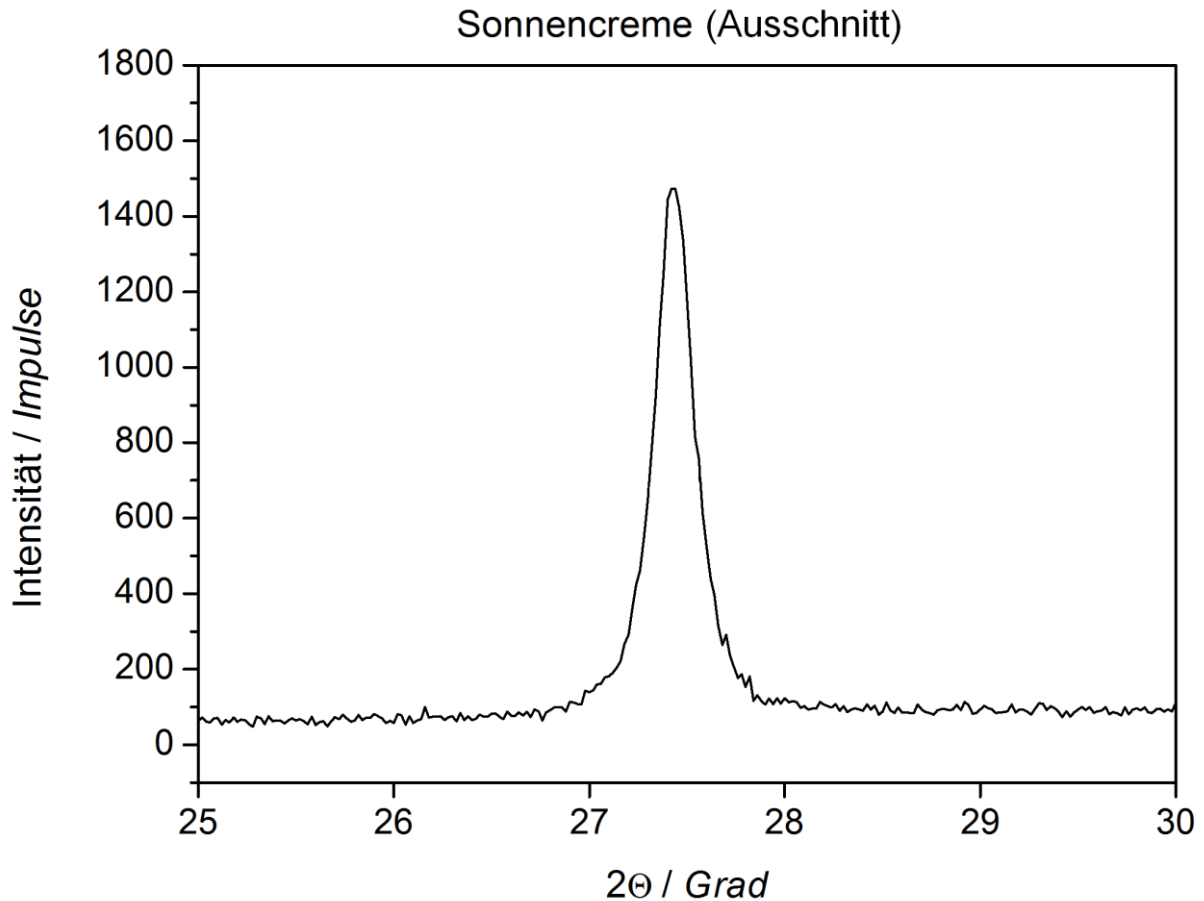
Bestimmung der Partikelgrößen mittels P-XRD

A-Abb. 12 zeigt ein Röntgendiffraktogramm von Titandioxid-Partikeln, welche aus Sonnencreme isoliert wurden.



A-Abb. 12 – Diffraktogramm von Titandioxid-Partikeln aus Sonnencreme.

Aus den Daten wurde der Peak mit der größten Intensität zur Bestimmung der Halbwertsbreite gewählt.



A-Abb. 13 – Ausschnitt des Diffraktogramms der Titandioxid-Partikel aus Sonnencreme.

Untersuchung der Zusammensetzung der Probe mittels EDX

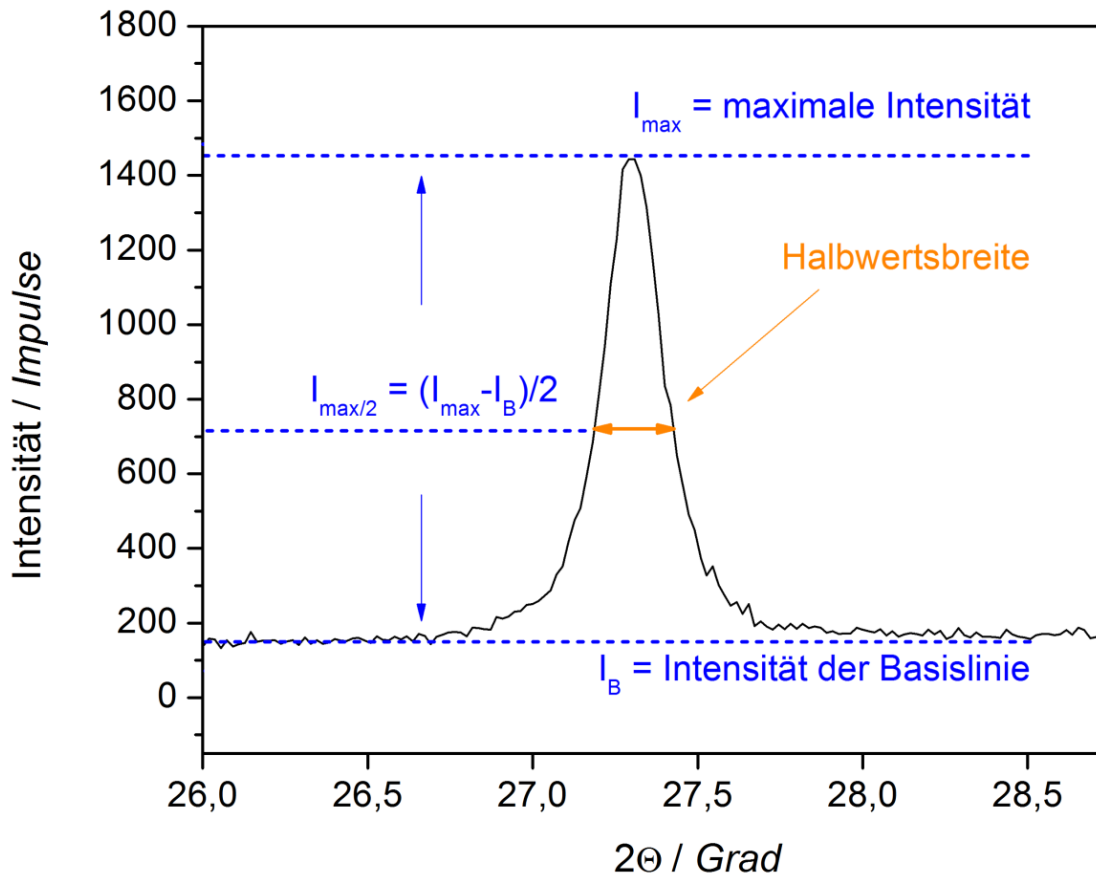
Eine Untersuchung der Probe mittels energiedispersiver Röntgenstrahlung (EDX) ergibt folgende, in Tabelle 1 ausgeführte Werte:

A.-Tab. 1 – Messwerte einer Untersuchung der Titandioxid-Partikel mittels EDX.

Element	Atom-%	Fehler der Atom-%
O	73,72	± 1,88
Ti	22,55	± 0,11
Al	2,25	± 0,05
Na	0,52	± 0,07
Mg	0,60	± 0,06
S	0,36	± 0,03

A3.9 Arbeitsblatt zur Bestimmung der Halbwertsbreite ⁴

Die volle Halbwertsbreite (engl. *full width at half maximum*) bezeichnet die (volle) Breite des Peaks bei der Hälfte des Maximums und ist ein charakteristischer Wert für mathematische Verteilungen, wie etwa der Gaußverteilung. Sie ist zudem von großer Bedeutung für die Atomspektroskopie und Antennentechnik. In unserem Beispiel wird sie jedoch benötigt, um mit Hilfe der Scherrer-Gleichung die Kristallitgröße von Titandioxid-Partikeln aus der Sonnencreme zu bestimmen. In Abbildung 1 ist ein Beispiel für die Bestimmung der Halbwertsbreite zu sehen.



A-Abb. 14 – Exemplarische Bestimmung der Halbwertsbreite

Zur Bestimmung der Halbwertsbreite wird folgendermaßen vorgegangen:

1. Ziehe eine „Basislinie“ zwischen den Messwerten vor und nach Eintreten des Peaks. In der Abbildung wird die Linie als I_B bezeichnet und blau markiert.
2. Ziehe eine Linie bei der maximalen Intensität an der höchsten Stelle des Peaks. In der Abbildung wird die Linie als I_{\max} bezeichnet und blau markiert.
3. Bestimme die Höhe des Peaks von der Basislinie aus.

Achtung: Basislinie \neq Nulllinie.

⁴ Die Inhalte von Kap. A3.9 wurden vom Autor zusätzlich in der Fachzeitschrift PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN – CHEMIE IN DER SCHULE ^[3] veröffentlicht. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags (siehe A4) wurden ausgewählte Inhalte und Abbildungen übernommen.

Da in unserem Fall die Basislinie von der Nulllinie verschieden ist, muss der absoluten Höhe des Peaks die Höhe der Basislinie abgezogen werden!

1. Errechne und markiere die halbe Höhe des Peaks. Diese wird in der Abbildung als $I_{\max}/2$ bezeichnet und blau markiert.
2. Miss nun die Breite des Peaks auf der in Punkt vier berechneten halben Höhe. In der Abbildung wird diese orange markiert.

A3.10 Projekt 3: Fragebogen zur Evaluation der Unterrichtseinheit

Fragebogen zur „Unterrichtseinheit Nano“

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

in den letzten Stunden haben wir uns mit dem Thema „Nano“ beschäftigt. Um die Unterrichtseinheit weiter zu verbessern bitten wir dich, die folgenden sechs Fragen zu beantworten. Die Ergebnisse werden natürlich nicht benotet oder auf andere Weise in die Bewertung eingehen.

1. Wie schätzt du deine Kenntnisse zu “Nano” ein?

sehr viele *viele* *wenige* *keine*

2. Nenne verschiedene Nanomaterialien und/oder verschiedene Bereiche, in denen diese nanomaterialien eingesetzt werden. Beschreibe nach Möglichkeit ihre Funktion.

3.a Beschreibe möglichst genau, welchen Größenbereich die Nanodimension umfasst.

3.b Ordne die folgenden Objekte der Größe nach an, beginnend bei dem Kleinsten: Elektron, Nanopartikel, Haselnuss, Haar, Atom.

← kleiner

größer →

4. Beurteile den zunehmenden Einsatz von Nanotechnologie und Nanomaterialien.

5. Formuliere bitte, was du dir unter dem Begriff „Nano“ vorstellst. Fertige ggf. zusätzlich eine Zeichnung an.

6. Das Wichtigste, was ich zum Thema „Nano“ gelernt habe, ist ...

8. Worüber hättest du gerne mehr erfahren?

9. Was hat dir an der Unterrichtseinheit ...

... gut gefallen?	... nicht so gut gefallen?

A3.11 Kontroverse um Bisphenol A ⁵

Hormone in der Babyflasche
Bisphenol A:
 Beispiel einer verfehlten Chemikalienpolitik
 Sind Kunststoffbestandteile Ursache vieler Zivilisationskrankheiten?
 Ein Erfolg des BUND: Bisphenol A ist seit Juni 2011 in Babyflaschen verboten!

WirtschaftsWoche
 In unserem Blut fließt Plastik
 80 Prozent der Lebensmittel auf deutschen Supermärkten kommen mit Plastik in Verbindung.
 Durch die Luft, über die Haut und vor allem über die Nahrung nehmen die Menschen mehr Plastik denn je auf. Studien druten drauf hin, dass Krebserkrankungen, Fettleibigkeit und Unfruchtbarkeit darauf zurückzuführen sind. Über das Gift in unseren Adern.

BPA

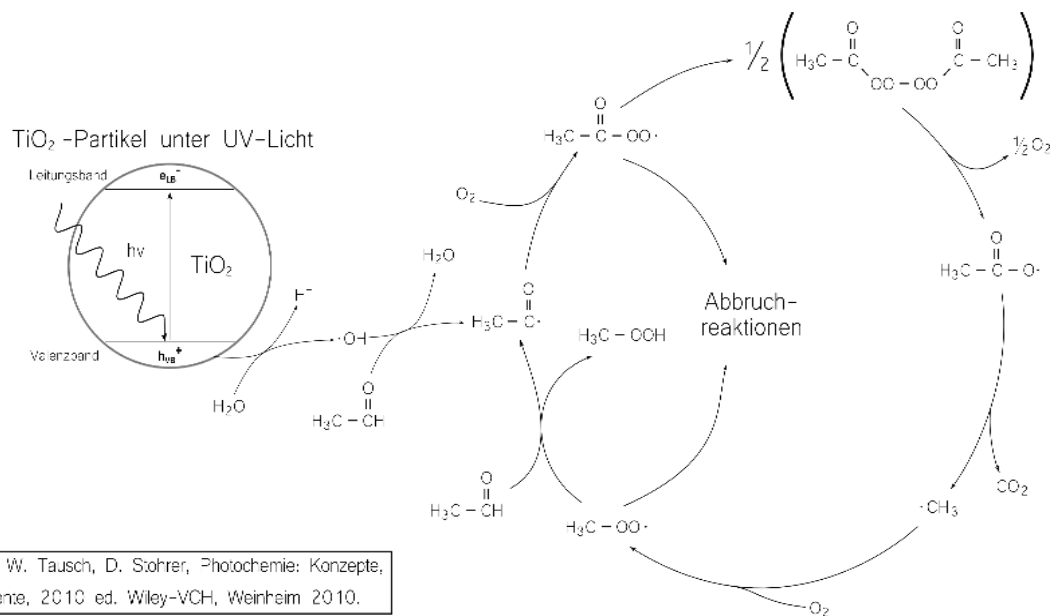
Bisphenol A: Hormongift mit fatalen Folgen
Bisphenol-A-haltige Produkte Gift in kleinen Dosen
 Bisphenol-A (BPA) ist eine Chemikalie, die in vielem steckt. So auch in Babyflaschen und Nuckeln. Wie gefährlich ist sie? Die EU prüft, die deutschen Behörden warten so lange ab.

merkur-online.de
 Bisphenol A macht Männer unfruchtbar
 Die Substanz steckt in Verpackungen, Zahnfüllungen, CD-Hüllen, Baumaterialien und auch in Babyflaschen: Bisphenol A. Der Kunststoffweichmacher ist auch für die Gesundheit von Männern gefährlich.
 Die allgegenwärtige Plastikchemikalie Bisphenol A (BPA) schädigt offenbar die Fruchtbarkeit von Männern. Eine Studie in China zeigt, dass hohe BPA-Belastungen bei Männern die Samenqualität deutlich verschlechtern. Die Mitarbeiter des US-Gesundheitsforschers Kaiser Permanente hatten zuvor schon wiederholt bei amerikanischen Männern festgestellt, dass der Stoff, der ähnlich wirkt wie das weibliche Sexualhormon Östrogen, auch das Sexualleben beeinträchtigt.

A-Abb. 15 – Folie zu Bisphenol A in Online- und Printmedien.

⁵ Die Inhalte von Kap. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. wurden vom Autor zusätzlich in der Fachzeitschrift PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN – CHEMIE IN DER SCHULE ^[2] veröffentlicht. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags (siehe A4) wurden ausgewählte Inhalte und Abbildungen übernommen.

A3.12 Photokatalytischer Abbau von Acetaldehyd⁶

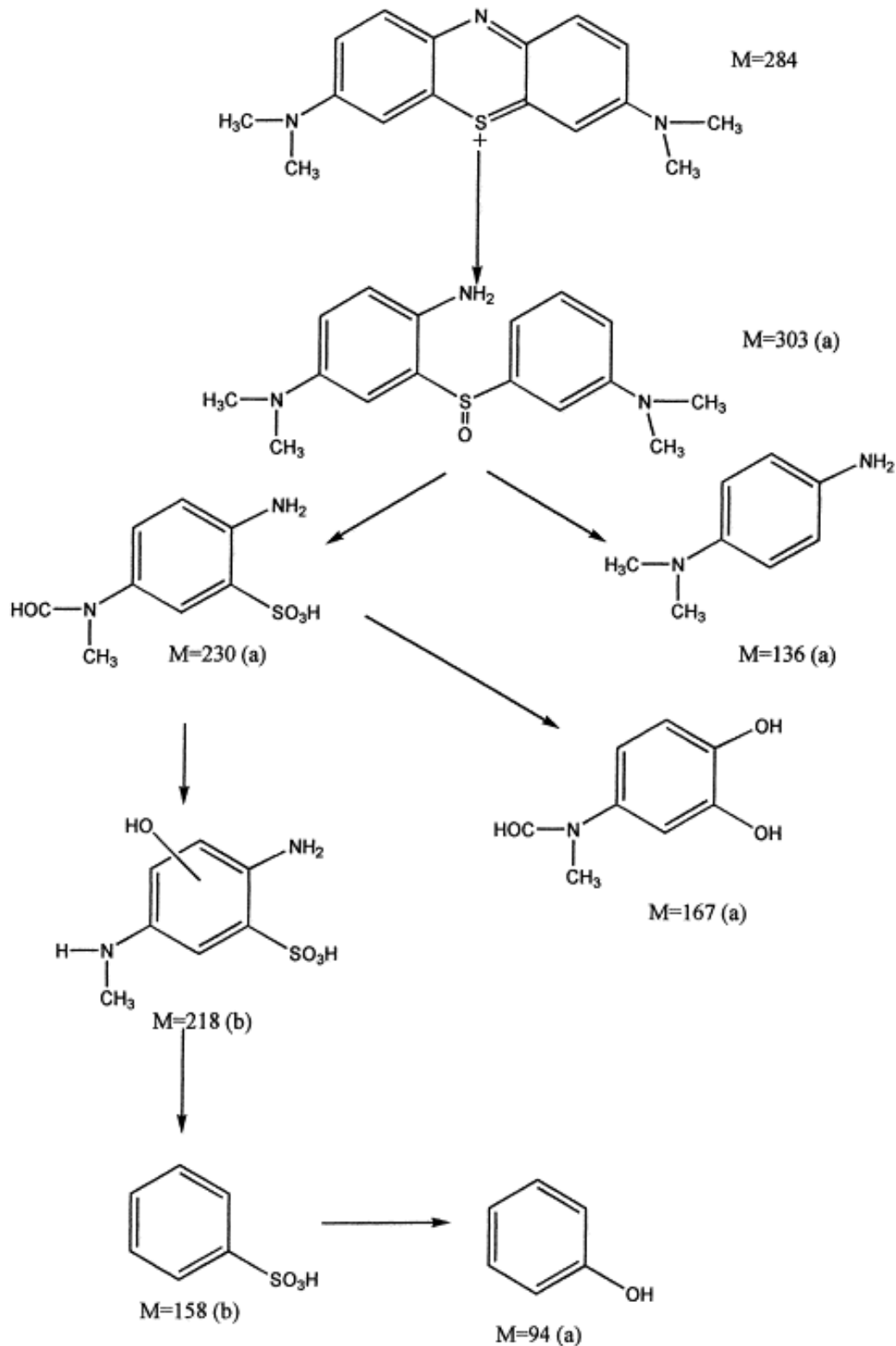


Vgl: D. Wöhrle, M. W. Tausch, D. Sohrer, Photochemie: Konzepte, Methoden, Experimente, 2010 ed. Wiley-VCH, Weinheim 2010.

A-Abb. 16 – Vereinfachter Mechanismus des photokatalytischen Abbaus von Acetaldehyd

⁶ Die Inhalte von Kap. A3.12 wurden vom Autor zusätzlich in der Fachzeitschrift PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN – CHEMIE IN DER SCHULE^[2] veröffentlicht. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags (siehe A4) wurden ausgewählte Inhalte und Abbildungen übernommen.

A3.13 Photokatalytischer Abbau von Metylenblau



(a) detected by GC/MS (extraction of ions)

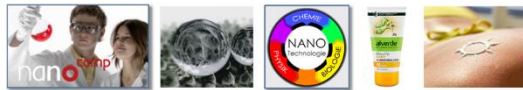
(b) detected by LC / MS

A-Abb. 17 - Photokatalytischer Abbau von Metylenblau, nach HOUAS ET AL. [4].

A3.14 Projekt 5: Einführungsseminar im XLAB

NANOTECHNOLOGIE

Im XLAB – Göttinger Experimentallabor für junge Leute e.V.



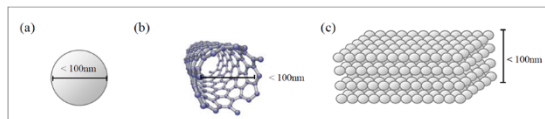
Was ist „Nano“?

- Vorsilbe (gr. *nános*, Zwerg), 10^{-9}
 - Kurzbegriff für die Nanowissenschaften oder Nanotechnologie
 - Vereint die drei „klassischen“ Naturwissenschaften
- Definition?



Form

Unterscheidung zwischen Nanopartikeln (in 3 Dimensionen nanoskalig), Nanofasern (in zwei Dimensionen nanoskalig) und Nanoplättchen (in einer Dimension nanoskalig)



Was wissen Sie schon über „Nano“?

Definition „Nanotechnologie“

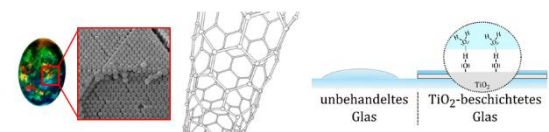
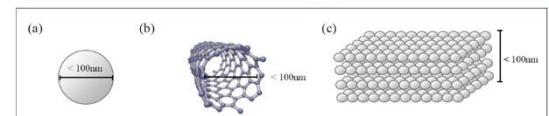
„It depends on whom you ask.“

Steven Block

- Bislang keine eindeutige Definition, zu viele verschiedene Themenfelder mit unterschiedlichen Schwerpunkten

Nanotechnologie befasst sich mit der gezielten Konstruktion von Molekülen und Strukturen in atomarer Dimension, d.h. in einem Größenbereich zwischen einem und einigen hundert Nanometern

Form - Beispiele



Arbeitsblatt: Wie klein ist Nano?

Versuchen Sie, die nanoskaligen Dimensionen in ein Verhältnis zu „bekannten Größen“ zu setzen.



Größer Kleiner

Haar Staubmilbe Tropfen Atom Rotes Blutkörperchen DNA

Größendimension

Die Bundesregierung
 Bundeskanzlerin Bundesregierung Themen Aktuelles Mediathek

Was ist Nanotechnologie?



Ein Nanometer verhält sich zu einem Meter wie eine Haselnuss zu Erde

Foto: Picture-Alliance / Photoshot

Normalerweise bestimmen sich Technologien durch ihren Anwendungsbezug. Die Luftfahrttechnologie beispielsweise beschäftigt sich mit der Entwicklung und Verbesserung von Flugzeugen.

Die Nanotechnologie jedoch grenzt sich nicht durch ihren Anwendungsbezug von anderen Technologien ab.

Vielmehr bestimmt sich die Nanotechnologie zunächst nur durch die Größe der Materialien, die untersucht werden. Ganz allgemein sind diese kleiner als 100 Nanometer bis hin



Arbeitsblatt: Erschließen der Nanodimension

Vergleich von Nanopartikeln mit der Größe eines menschlichen Haares

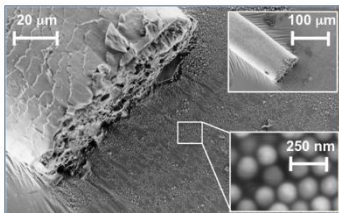


Abb. REM-Aufnahme eines Haares und Stöberpartikeln

„Wie viele Nanopartikel müssen nebeneinander gelegt werden, um den Durchmesser eines Haares zu erhalten?“



8 Partikel \triangleq 1000 nm \triangleq 1 µm
 Haar \triangleq 100 µm
 \triangleq 800 Partikel

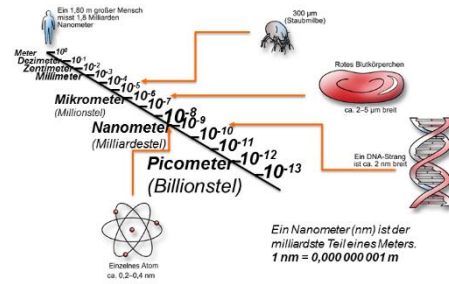
Arbeitsblatt: Das Würfel-Experiment



- Pro Teilung in 8 neue, identische Würfel zerlegt
- Ziel: Betrachtung der Gesamtoberfläche nach jeder Teilung

Teilungen	Anzahl der Würfel	Kantenlänge a [cm]	Oberfläche A
0	1	1	6 cm ²
1	8	1/2	12 cm ²
2	64	1/4	24 cm ²
3			
4			
5			

Wie groß ist ein Nanometer?



Das Würfel-Experiment

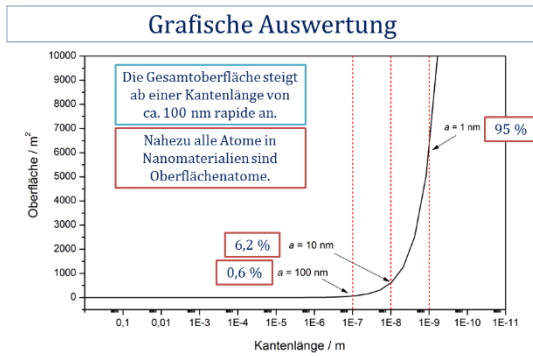
- Würfel mit Kantenlänge a = 1 cm
- Pro Teilung in 8 neue, identische Würfel zerlegt
- Ziel: Betrachtung der Gesamtoberfläche nach jeder Teilung



Lösung: Das Würfel-Experiment



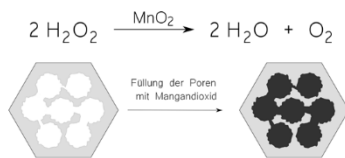
Teilungen	Anzahl der Würfel	Kantenlänge a [cm]	Oberfläche A
0	1	1	6 cm ²
1	8	1/2	12 cm ²
2	64	1/4	24 cm ²
3	512	1/8	48 cm ²
4	4 096	1/16	96 cm ²
5	32 768	1/32	192 cm ²



Folie 17

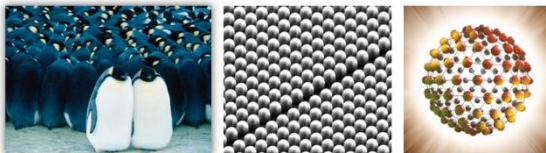
Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis

- Eine der zentralen Eigenschaften von Nanomaterialien
- Hohe Reaktivität
- Anwendungen bspw. möglich in der Gasspeicherung oder als Trägermaterialien für Katalysatoren



Folie 19

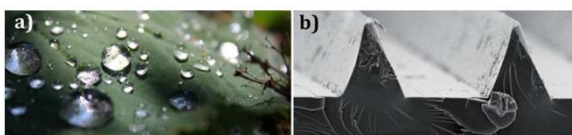
Neue Eigenschaften



- Äußerste Schicht "koordinativ nicht abgesättigt"
- Makroskopische Partikel: Volumeneffekte
- Nanopartikel: Oberflächeneffekte

Nanostrukturierte Materialien

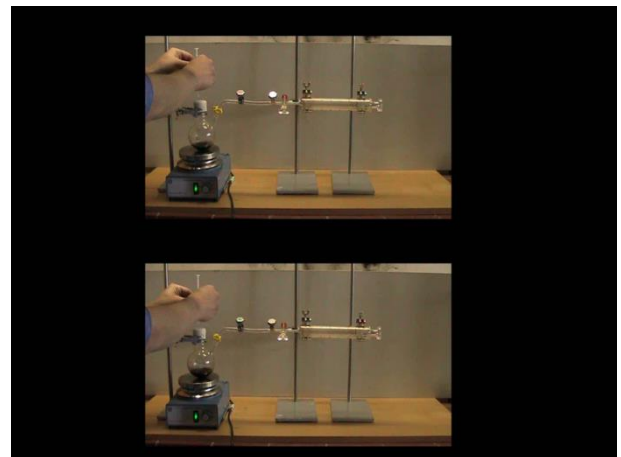
- A) Lotus-Effekt: Mikroskopisch kleine, superhydrophobe Wachsstrukturen
- B) „Haifischhaut“: Strömungsgünstiger Oberflächenlack verringert Verwirbelungen und Widerstand und spart Kraftstoff ein.



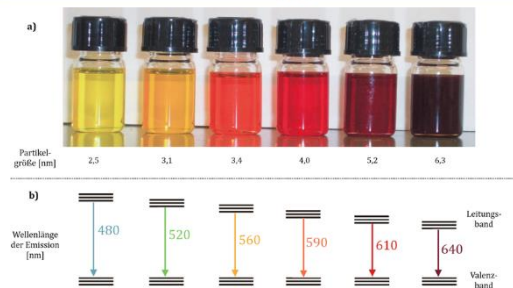
Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis

- Nahezu alle Atome in Nanomaterialien sind Oberflächenatome
 - Energetisch ungünstig → besondere Eigenschaften
 - Nanomaterialien besitzen ...
 - eine größere Härte oder katalytische Aktivität,
 - eine andere Farbe
 - neue Eigenschaften wie Superparamagnetismus
- ... im Vergleich zum makroskopischen Material.

TIMM WILKE 16.12.2014 FOLIE 16



Größenabhängige Effekte



TIMM WILKE 16.12.2014 FOLIE 20

Haifischhaut

Ungefähr 3 % Kraftstoff kann auf diese Weise bei Schiffen, Autos und Flugzeugen eingespart werden – dies entspricht zum Beispiel knapp 17 Tonnen CO₂ bei einem einzigen Linienflug einer Boeing 747.



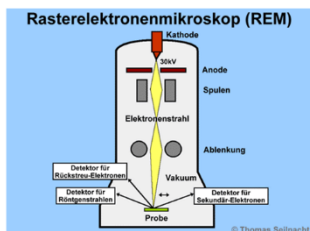
Relevanz: Nano im Alltag



Die Experimente

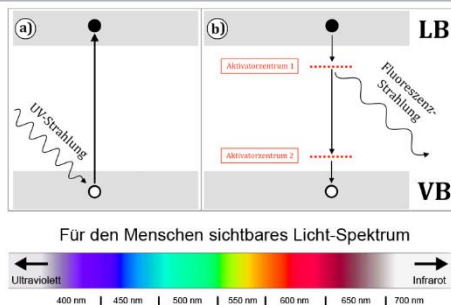


Aufbau eines Raster-Elektronen-Mikroskops



Glühender Wolframdraht (Kathode) erzeugt Elektronen, die mit einer Spannung von 8-30kV beschleunigt werden. Über Magnetspulen werden die Elektronen gebündelt und auf einen Punkt fixiert. Elektronenstrahl „rastert“ die Oberfläche der Probe ab. Wechselwirkungen zwischen Strahl und Probe werden mit Hilfe eines Detektors aufgezeichnet und ergeben das Bild.

Deutung der Fluoreszenz anhand des Bändermodells



Relevanz: Nano in der Wissenschaft

- Deutschland Spitzenreiter hinter USA und Japan

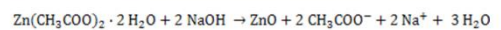
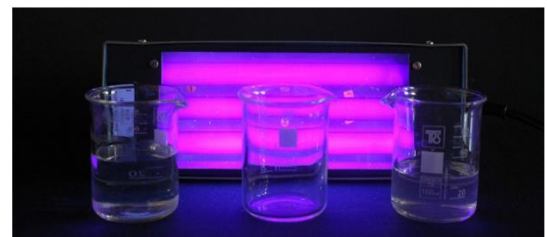


Das Raster-Elektronen-Mikroskop (REM)



- Vergrößerung bis in nanoskalige Dimensionen
- Rasterungsprozess findet im Hochvakuum statt, um Wechselwirkungen mit Atomen / Molekülen der Luft zu verhindern

1) Herstellung von Zinkoxid Nanopartikeln



Diffusion von ZnO-Nanopartikeln durch n-Octanol

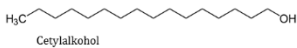
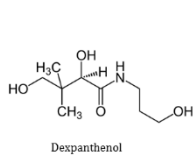
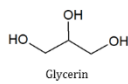


- Zwiebel dient als Modell für menschliche Zellwand
- Birgt die Nanotechnologie potenzielle Risiken?

Isolation des mineralischen Filters aus Sonnencreme



Woraus besteht eigentlich Sonnencreme?



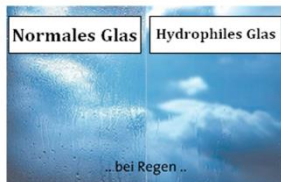
Emulgatoren, Feuchtigkeitsspendern und ggf. Duftstoffen

Glycerin: Feuchtigkeitsspender

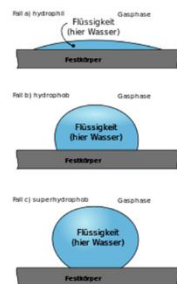
Dexpanthenol: Feuchtigkeitsspender, Entzündungshemmer

Cetylalkohol: Emulgator oder Verdickungsmittel

Superhydrophile Oberflächen - TTIP



- Hydrophil: 0 - 90°
- Hydrophob: 90 - 160°
- Superhydrophob: > 160°



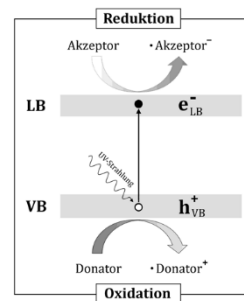
Ablauf

- Vorbereitung V3: Isolation
- V1: Synthese der Zinkoxid-Nanopartikel
- V2: Diffusion der Zinkoxid-Nanopartikel
- V3: Isolation des mineralischen Filters der Sonnencreme
- V4: Identifizierung des mineralischen Filters
- V5: Thermochromie
- V6: Photokatalyse
- V7: Erzeugung einer superhydrophilen Oberfläche

Woraus besteht eigentlich Sonnencreme?

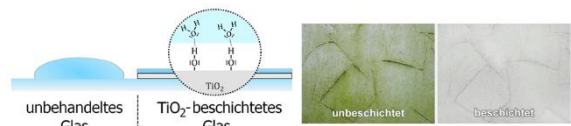


Photokatalyse



- Durch Licht ausgelöste chemische Reaktion
- Bildung von Elektron-Loch-Paaren unter UV-Licht
- Bildung von Radikalen

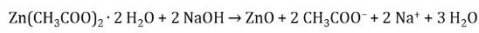
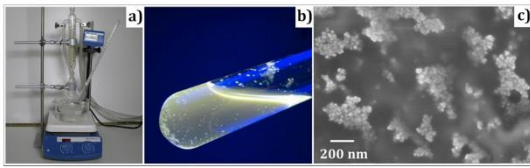
Superhydrophile Oberflächen - TTIP



- Selbstreinigende Oberflächen: Durch Photokatalyse erzeugte Radikale zersetzen organische Moleküle, töten Bakterien oder verhindern Algenbewuchs

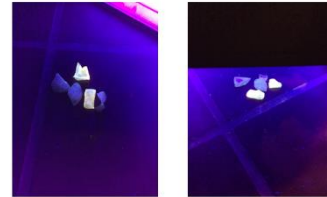
Auswertung der Experimente

Synthese von Zinkoxid-Nanopartikeln



Welche potenziellen Risiken stellen sich dar?

Diffusion von ZnO-Nanopartikeln durch n-Octanol



- Zinkoxid Nanopartikel können in die Zellen gelangen
- Übertragbarkeit auf menschliche Zellen?

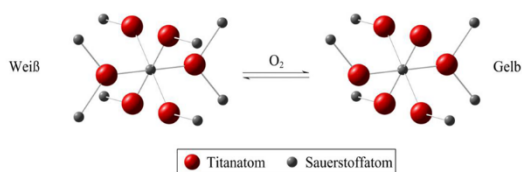
Welche Stoffe entstehen höchstwahrscheinlich bei der Verbrennung der Sonnencreme? Wie lassen sie sich nachweisen?

Nanopartikel aus Sonnencreme

Geben Sie an, welche Stoffe (zusätzlich zum weißen Pulver) höchstwahrscheinlich bei der Verbrennung entstehen. Entwerfen und erläutern Sie einen experimentellen Aufbau (Skizze), um diese nachzuweisen.

Es entstehen neben der Asche bei der Verbrennung von organischen Substanzen zu großen Teilen Kohlenstoffdioxid und Wasser. Ersteres kann mit nachgewiesen werden, indem die Gase in Kalkwasser geleitet werden, letzteres kann mit wasserfreiem Kupfersulfat identifiziert werden.

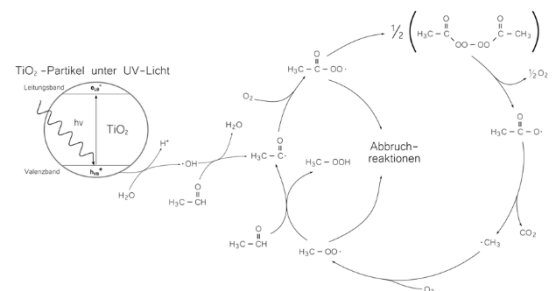
Thermochromie von Titandioxid



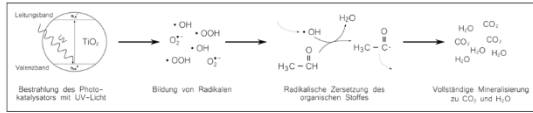
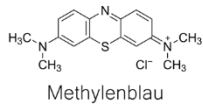
Identifizierung des mineralischen UV-Filters

- Titandioxid löst sich nicht in Wasser; mit Hilfe von Kaliumhydrogensulfat wird das schwerlösliche Titandioxid aber in eine wasserlösliche Verbindung überführt. Mit dem zugegebenen Wasserstoffperoxid-Lösung bildet schließlich sich eine Titanverbindung, die gelb-orange gefärbt ist. Diese Färbung tritt schon bei einer sehr geringen Konzentrationen von Ti^{2+} -Ionen in der Lösung auf, sodass letzteres durch diese Reaktion gut nachgewiesen werden kann.

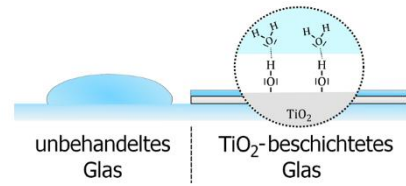
Radikalbildung bei der Photokatalyse



Radikalbildung bei der Photokatalyse



Herstellung einer hydrophilen TiO_2 -Nanoschicht

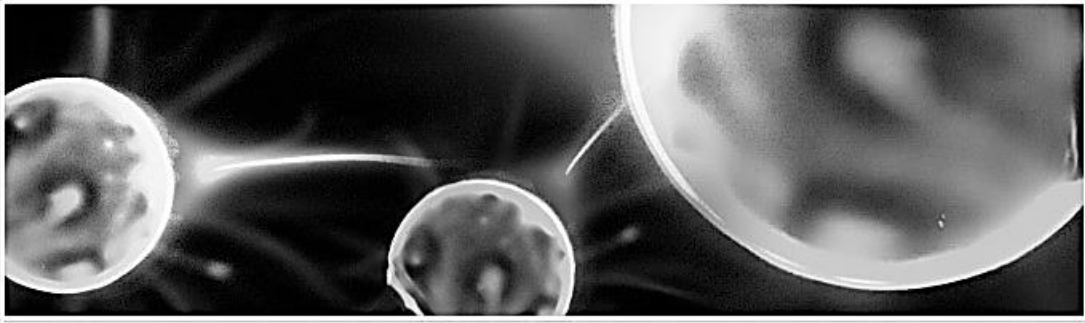


A3.15 WebQuest zu Silber-Nanopartikeln


Nachfolgend sind Screenshots des WebQuests abgebildet. Das WebQuest ist darüber hinaus online unter unterrichtsmaterialien-chemie.uni-goettingen.de/wip/nanosilber/ frei online zugänglich.

NANO

- START
- VERSUCH
- AUFGABEN
- GRUPPE 1
- GRUPPE 2
- GRUPPE 3
- GRUPPE 4
- MATERIAL



WILLKOMMEN ZUM NANO-SILBER WEBQUEST



Kennt ihr Nano? Sicherlich habt ihr in den verschiedensten Produkten, z.B. in der Werbung schon den Begriff gehört, doch die Wenigsten wissen, was in der Wissenschaft damit genau gemeint ist. Es gibt viele Produkte, in denen schon heute sogenannte Nanopartikel verwendet werden. Dazu gehören neben Reinigungsmitteln oder Golfbällen auch Produkte, die wir täglich benutzen, wie etwa Zahnpasta, Sonnencreme oder Kosmetika.

Nicht nur in diesem Deo sind Silber-Nanopartikel enthalten, auch in anderen Deos, Cremes und sogar manchen Textilien sind sie häufig zu finden. Sie sollen antibakteriell wirken, ihre Verwendung ist jedoch nicht unumstritten und wird deswegen auch häufig nicht explizit angegeben.


Um die Wirksamkeit von Nanopartikeln zu überprüfen, könnt ihr folgenden Versuch durchführen: Klickt [hier](#)!

Projekt: [Benedikt Niepötter](#) und [Timm Wilke](#) | Design by [ECT](#) | Images by [Fotograph](#)

A-Abb. 18 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln.

NANO

START
VERSUCH
AUFGABEN
GRUPPE 1
GRUPPE 2
GRUPPE 3
GRUPPE 4
MATERIAL



VERSUCH 1 - WIRKSAMKEIT VON NANO-SILBERPARTIKELN

Material: Zwei Petrischalen, Nivea „Silver Protect“ Deo, helles Malzextrakt, Agar, Wasser

Durchführung: Zur Herstellung eines Nährmediums werden 2 g Malzextrakt und 2 g Agar miteinander vermengt. Dazu gibt man 100 mL Wasser und kocht die Mischung kurz auf. Anschließend werden die Petrischalen 2-3 mm hoch mit der Nährlösung bedeckt. Nach dem Abkühlen werden beide Petrischalen nun kontaminiert. Dies kann beispielsweise durch das Drücken gegen die Klinke einer Toilettür geschehen. Eine der beiden Schalen wird anschließend mit dem Deo besprüht, die andere Petrischale dient als Blindprobe.




Abbildung 1: Behandlung einer Probe mit Nano-Silberpartikeln.

Nun werden die Petrischalen für einige Tage stehen gelassen und dabei immer wieder das Wachstum der Keime beobachtet und eventuell mit einer Kamera dokumentiert. Sollten die erforderlichen Mittel oder die Zeit für diesen Versuch nicht zur Verfügung stehen, können unten Fotos des Versuchs angesehen werden.

Silbernanopartikel wirken also antibakteriell. Aber was macht Nanopartikel aus? Wieso wirken sie? Wie werden sie hergestellt? Kann man sie sehen? Und sind sie gefährlich für den Menschen? Diesen Fragen sollt ihr in diesem Web Inquiry Project auf den Grund gehen. Wie das funktioniert, erfahrt ihr auf der nächsten Seite.




Abbildung 2: Blindprobe (links) und mit Silber-Nanopartikeln behandelte Probe nach einer Woche.

Design by ECI | Images by Fotogroph

A-Abb. 19 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln

NANO

START
VERSUCH
AUFGABEN
GRUPPE 1
GRUPPE 2
GRUPPE 3
GRUPPE 4
MATERIAL



AUFGABEN

Ihr sollt euch nun in Expertengruppen den Fragen nach Wirkung, Herstellung, Untersuchungsmöglichkeiten sowie Gefahrenpotential informieren und eine Präsentation für eure Mitschüler/innen vorbereiten.

ARBEITSFORM

Das Los wird über die Zusammensetzung der vier Expertengruppen (Wirkung, Herstellung, Untersuchungsmöglichkeiten, Gefahrenpotential) entscheiden. Jede Gruppe besteht aus 5 Personen. Um möglichst effektiv und erfolgreich in den Gruppen arbeiten zu können, kann es hilfreich sein, wenn ihr euch die Tipps für's Arbeiten in Gruppen durchlest.

RECHERCHE

Die Expertengruppen bearbeiten unterschiedliche Schwerpunkte zum Thema "Nanosilberpartikel". Zur Recherche sollen (wenn nicht anders angegeben) ausschließlich die zusammengestellten Internetquellen und Literaturangaben in den Linklisten verwendet werden.

PRÄSENTATION

Mit Hilfe der Quellen soll eine Powerpointpräsentation erarbeitet werden, in der die wichtigsten Informationen zu den Themen der Expertengruppen enthält. Der Vortrag soll die Dauer von **10 Minuten nicht überschreiten!** Zusätzlich soll von jeder Expertengruppe ein Handout vorbereitet werden, das die wichtigsten Inhalte des Vortrags zusammenfasst.

DISKUSSION

Nachdem alle Vorträge gehalten wurden, soll in einer Diskussionsrunde unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Gruppenarbeit eine Informationsschrift zum Thema Nanopartikel erstellt werden. Der 1-2 Seiten lange Text wird in 5 Gruppen zu je 4 Personen verfasst. Die Gruppen werden so zusammengesetzt, dass in jeder Gruppe vier verschiedene Experten arbeiten.


Bevor ihr jedoch mit der Arbeit beginnt informiert euch [hier](#) und [hier](#) darüber, was Nanotechnologie ausmacht.

Design by [FCT](#) | Images by [Fotogroh](#)

A-Abb. 20 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln

NANO

START VERSUCH AUFGABEN GRUPPE 1 GRUPPE 2 GRUPPE 3 GRUPPE 4 MATERIAL



GRUPPE 1 - HERSTELLUNG

Aufgrund ihrer nahezu unvorstellbar geringen Größe ist die industrielle Herstellung von Nanopartikeln ein technologisch sehr anspruchsvoller Prozess. Hinzu kommt, dass die charakteristischen Eigenschaften dieser Nanopartikel stark von der genau definierten Größe abhängen. Um die Herstellung von Nanomaterialien nachvollziehen zu können, sollt ihr euch im Folgenden einen Überblick über mehrere, spezialisierte Syntheseverfahren für unterschiedliche Produkte verschaffen.

Informiert euch mit Hilfe der Link-Sammlung im Internet über die beiden Herstellungsprinzipien (*Bottom-Up und Top-Down*) mit den zugehörigen Herstellungsverfahren und nennt für letztere mindestens mehrere Beispiele. Erstellt eine Präsentation, um euren Mitschülerinnen und Mitschülern eure Erkenntnisse vorzustellen.

LINKS

http://www.bmbf.de/pub/nanopartikel_kleine_dinge_grosse_wirkung.pdf (Seite 10 - 13)

http://fonds.vci.de/template_downloads/tmp_fonds.vci.de/116505WunderweltNanomaterialien_2008.pdf?DokNr=116505&p=111 (Seite 16 - 19)


<http://www.nanotruck.de/treffpunkt-nanowelten/nanotechnologie-konkret/was-ist-nano-innovationen-fuer-mensch-und-umwelt/nanotechnologie-kleines-volumen-grosse-oberflaeche.html>

Design by FCT | Images by Fotogroph

A-Abb. 21 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln

NANO

STARTVERSUCHAUFGABENGRUPPE 1GRUPPE 2GRUPPE 3GRUPPE 4MATERIAL



GRUPPE 2 - HERSTELLUNG

Die besonderen Eigenschaften von Nanopartikeln sind eng mit ihrer Größe und Oberfläche verbunden. Um einen Einblick in die grundlegenden Aspekte des Wirkprinzips von Nanotechnologie zu erhalten, ist es folglich wichtig, einen genaueren Blick darauf zu werfen, was genau Nanopartikel von „gewöhnlichen“ Materialien unterscheidet.

Informiert euch mit Hilfe der Link-Sammlung im Internet über die *Oberflächenvergrößerung von Nanopartikeln*, das *Prinzip des Lotus-Effektes*, das *Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis* und erstellt eine Präsentation, um euren Mitschülerinnen und Mitschülern eure Erkenntnisse vorzustellen.

LINKS

<http://www.nanoforschools.ch/app/download/1225797650/Nanodimension.pdf?t=1231764560>

<http://www.nanotruck.de/treffpunkt-nanowelten/nanotechnologie-konkret/was-ist-nano-innovationen-fuer-mensch-und-umwelt.html>

<http://www.nanotruck.de/treffpunkt-nanowelten/nanotechnologie-konkret/was-ist-nano-innovationen-fuer-mensch-und-umwelt/nanotechnologie-kleines-volumen-grosse-oberflaeche.html>

http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/chemikalien/nanotechnologie/nano_definition/

<http://de.wikipedia.org/wiki/Lotuseffekt> Abschnitte „Technische Anwendungen“ und die Animation
<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:LotuseffectAnimationv2.ogg&filetimestamp=20061018205456>

Design by FCT | Images by Fotogroph

A-Abb. 22 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln

NANO

START VERSUCH AUFGABEN GRUPPE1 GRUPPE2 GRUPPE3 GRUPPE4 MATERIAL



GRUPPE 3 - QUALITÄTSMANAGEMENT

Seine besonderen Eigenschaften erhalten Nanopartikel durch ihre Größe. Es ist deshalb wichtig die genaue Größe der Partikel zu kennen. Jedoch ist die Untersuchung von Stoffen dieser Größe mit normalen Mikroskopen nicht möglich. Es wurden jedoch Verfahren entwickelt um auch solch kleine Strukturen untersuchen zu können.

Informiert euch mit Hilfe der Link-Sammlung im Internet über die Begriffe Auflösungsvermögen, Elektronenmikroskop sowie Rastersondenmikroskop und erstellt eine Präsentation, um euren Mitschülerinnen und Mitschülern eure Erkenntnisse vorzustellen.

LINKS

http://fonds.vci.de/template_downloads/tmp_fonds.vci.de/116505WunderweltNanomaterialien_2008.pdf?DokNr=116505&p=111

<http://www.zoologie-skript.de/methoden/mikros/resol.htm>

<http://www.klassenarbeiten.de/oberstufe/leistungskurs/biologie/zelleorgan/cytologie.htm>

<http://studium.lorenz.de/biologie/biologie-praktikum.pdf>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Rastersondenmikroskopie>

<http://sxm4.uni-muenster.de/stm-de/>

Design by [ECT](#) | Images by [Fotogroph](#)

A-Abb. 23 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln

NANO

START VERSUCH AUFGABEN GRUPPE 1 GRUPPE 2 GRUPPE 3 GRUPPE 4 MATERIAL



GRUPPE 4 - RISIKEN UND NUTZEN

In unseren Supermärkten finden sich bereits viele nanotechnologisch verbesserte Produkte. Diese sind laut Herstellerangaben völlig unbedenklich für Mensch und Umwelt. Allerdings handelt es sich bei den Nanowissenschaften noch um eine recht junge Disziplin und es existieren noch wenige oder gar keine gesundheitliche Studien oder gar Langzeituntersuchungen.

Informiert euch mit Hilfe der Link-Sammlung im Internet über mögliche Gefahren von Nanotechnologie für Mensch und Umwelt und erstellt eine Präsentation, um euren Mitschülerinnen und Mitschülern eure Erkenntnisse vorzustellen.

LINKS

<http://www.zeit.de/politik/2009-10/risiken-nanotechnologie/seite-1>

http://www.planet-wissen.de/natur_technik/forschungszweige/nanotechnologie/index.jsp

http://www.planet-wissen.de/natur_technik/forschungszweige/nanotechnologie/nanofood.jsp

http://www.planet-wissen.de/natur_technik/forschungszweige/nanotechnologie/interview_vengels.jsp

<http://www.nanobionet.de/fileadmin/Grafiken/Downloa-Dateien/Sicherheitsbroschuere.pdf> Seite 8 -12

<http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/nano.pdf> Seite 35 - 39

<http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier026.pdf> Tabelle auf Seite 2

<http://www.nanotruck.de/treffpunkt-nanowelten/nanotechnologie-konkret/umweltschutz-und-nachhaltigkeit.html>

Design by FCT | Images by Fotogroph

A-Abb. 24 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln

A3.16 Arbeitsblatt zum Leidenfrost-Effekt⁷

Trotz Temperaturen weit über 100 °C können Wassertropfen mehrere Sekunden auf einer heißen Oberfläche wie die der abgebildeten Pfanne (Abb. 1) bestehen und bewegen. Die nachfolgenden Versuche sollen Dir helfen, die Wechselwirkung mit der Oberfläche zu verstehen und mit Hilfe eines genaueren Blickes den Ursprung des Leidenfrost-Effektes aufzuklären.

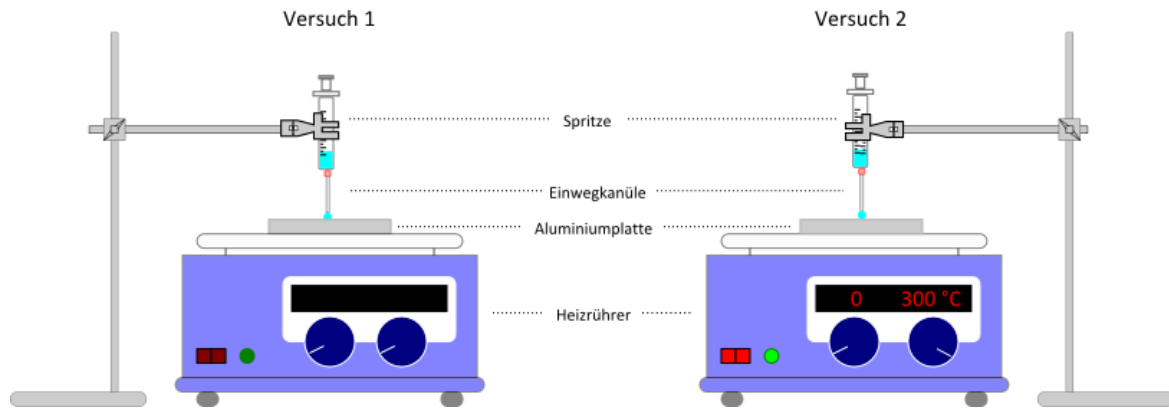


A-Abb. 25 – Beobachtbarer Leidenfrost-Effekt in der Bratpfanne.

Materialien: Heizrührer mit Temperaturskala bis mindestens 300 °C, Aluminiumplatte (dem Durchmesser der Heizrührerplatte ungefähr angepasst), Kamera (z.B. Handykamera), Einweg-Kanüle (z.B. 0,6 * 25 mm), Einmalspritze (z.B. 50 mL), Computer mit der Freeware IMAGEJ, 1 Stativfuß, 1 Muffe, 1 Klemme.

Aufbau:

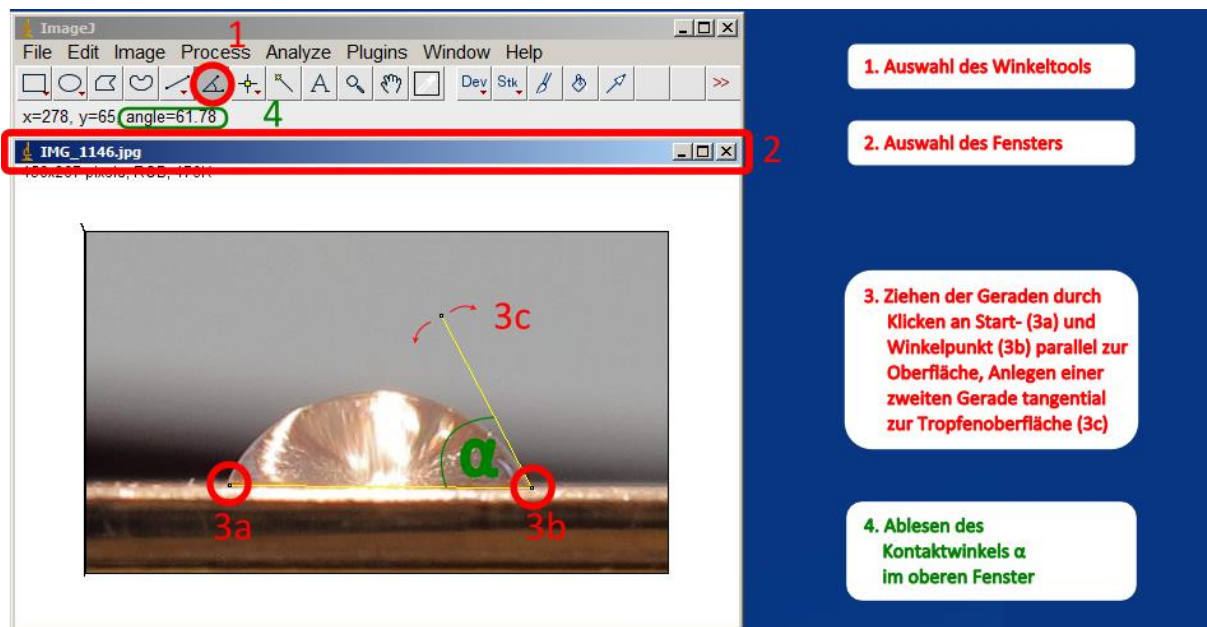
⁷ Die Inhalte von Kap. A3.16 wurden vom Autor zusätzlich in der Fachzeitschrift PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN – CHEMIE IN DER SCHULE^[5] veröffentlicht. Mit freundlicher Genehmigung des Verlags (siehe A4) wurden ausgewählte Inhalte und Abbildungen übernommen.



A-Abb. 26 – Versuchsaufbauten

Arbeitsauftrag 1: Zunächst wird die saubere Aluminiumplatte auf dem ausgeschalteten Heizrührer platziert (A-Abb. 26, Versuch 1). Die Spritze wird mit Wasser befüllt, die Kanüle mit Sicherheitskappe aufgesetzt und mit Hilfe eines Statives oberhalb der Aluminiumplatte gemäß der A-Abb. 26 fixiert. Daraufhin wird ein Wassertropfen auf die Aluminiumoberfläche gebracht und bei minimalem Kontakt mit der Kanüle in Position gehalten. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass der Tropfen nicht durch die Kapillarwechselwirkung mit der mittig zu platzierenden Kanüle verzogen wird. Nun kann ein Foto vom Querschnitt des Tropfens aufgenommen werden. Das so erhaltene Foto wird auf den PC übertragen und mit der Freeware IMAGEJ via Drag and Drop geöffnet.

Miss nun den Kontaktwinkel, wie in A-Abb. 27 dargestellt.



A-Abb. 27 – Beschreibung der Methode der Kontaktwinkelmessung an einer hydrophilen Oberfläche.

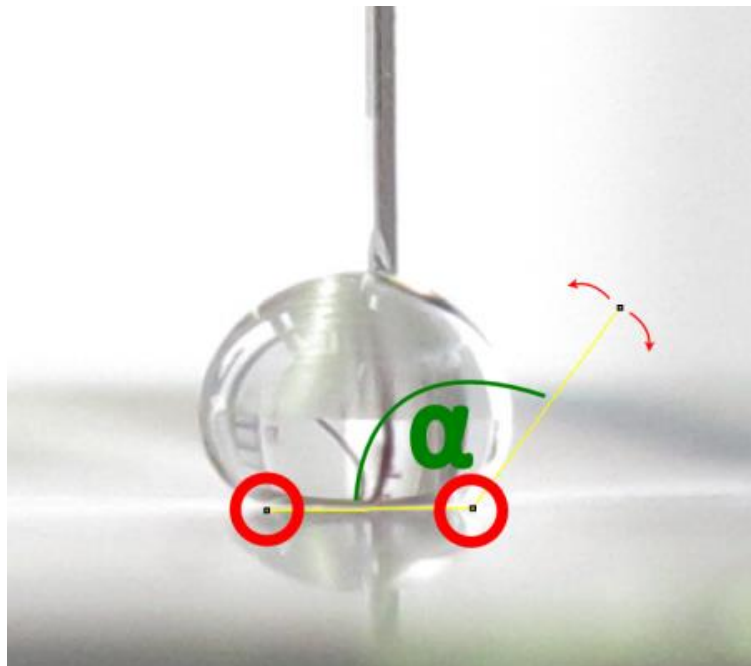
✍ Notiere den gemessenen Kontaktwinkel: _____

Möglicher Kontaktwinkel auf einer Aluminiumfläche unter 90° . Je nach verwendetem Material z.B. $30^\circ - 50^\circ$.

Lösung: Auf Basis dieses Messwertes bezeichnet man die Oberfläche als hydrophil („wasserliebend“). Die Aluminiumoberfläche ist mit einer dünnen Aluminiumoxidschicht Al_2O_3 überzogen, welche aufgrund der Elektronegativitätsdifferenz zwischen Aluminium und Sauerstoff von ungefähr 1,8 polar ist. Ebenso ist das Wasser polar, weshalb die Wechselwirkungen zwischen fester und flüssiger Phase eine größtmögliche Kontaktfläche bewirken.

Auf Basis dieses Messwertes bezeichnet man die Oberfläche als hydrophil („wasserliebend“). Die Aluminiumoberfläche ist mit einer dünnen Aluminiumoxidschicht Al_2O_3 überzogen, die mit Wasser in Kontakt tritt. Beschreibe und begründe unter Anwendung der Elektronegativitätsdifferenzen von Aluminium und Sauerstoff sowie Wasserstoff und Sauerstoff die beobachtete Wechselwirkung von Wasser und Oberfläche!

Arbeitsauftrag 2: Jetzt kann der Heizrührer auf 300 °C geregelt werden. Es ist sehr wichtig jeglichen Kontakt mit der Heizplatte, sei es mit der Kamera, der Spritze oder mit Körper und Kleidung, zu vermeiden. Wiederum wird gemäß vorheriger Anleitung und A-Abb. 28 ein Wassertropfen auf die nun erhitzte Oberfläche appliziert, ein Foto aufgenommen und mit Hilfe von IMAGEJ ausgewertet.



A-Abb. 28 – Kontaktwinkelmessung auf einer erhitzten Aluminiumplatte.

✍ Der gemessene Kontaktwinkel lautet:

Möglicher Kontaktwinkel: 140° - 170°

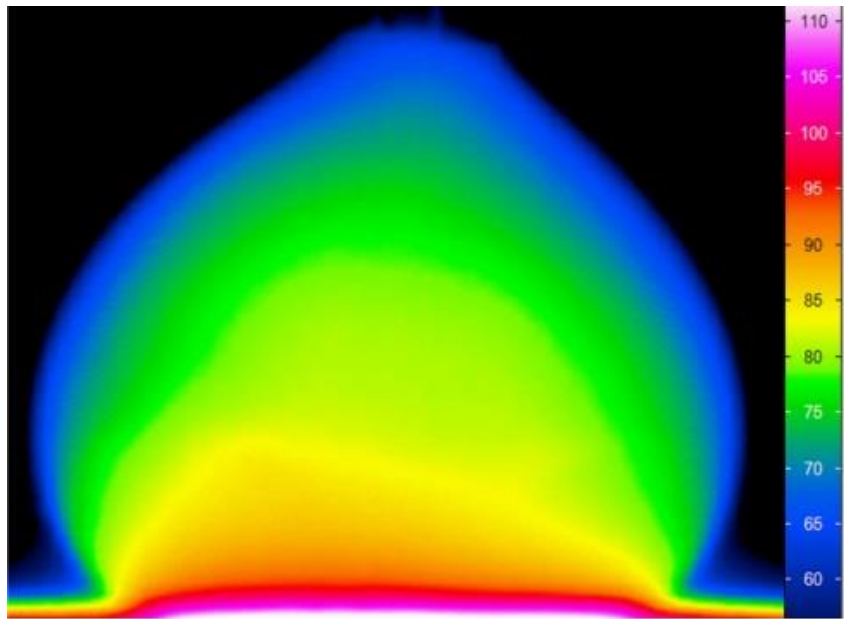
Erkläre diese Beobachtung im Vergleich zu den Ergebnissen von Arbeitsauftrag 1!

Beachte dabei die folgenden Aspekte:

Beschreibe das Verhalten des Wassertropfens auf der heißen Oberfläche und betrachte genau die Kontaktzone zwischen der flüssigen und festen Phase.

Lege begründet dar, ob der Ursprung der Kontaktwinkeländerung in einer chemischen Reaktion, z.B. die Oberfläche aus Al_2O_3 ändert sich, oder in einem Phasenwechsel, z.B. des Wassertropfens, liegt!

Das nebenstehende Temperaturprofil eines Wassertropfens und der Oberfläche kann dir bei Deinen Überlegungen helfen. Nutze die Skala, um nachzuvollziehen, warum der Tropfen nicht unmittelbar komplett verdampft!



A-Abb. 29 – Temperaturprofil eines Leidenfrost-Tropfens.

Lösung: Dieses Ergebnis erweckt den Anschein, dass es sich um eine ultrahydrophobe Fläche handelt. Allerdings ist die Kontaktwinkeländerung nicht auf eine Änderung der Aluminiumoxidschicht zurückzuführen, es handelt sich um keine chemische Reaktion. Vielmehr kommt es zwischen Wassertropfen und Aluminiumoxidoberfläche zur Ausbildung einer Wasserdampfschicht, es entsteht der Eindruck, dass der Tropfen schwebt. Hierdurch ist auch die erhöhte Mobilität bei geringer Wechselwirkung (z.B. Reibung) mit der Oberfläche zu erklären. Das Temperaturprofil stützt die Annahme, dass große Teile des Tropfens nicht über den Siedepunkt von Wasser erhitzt werden. Dies ist vor allem auf den vergleichsweise geringen Wärmeleitkoeffizienten von Wasser zurückzuführen, Konvektionsphänomene haben in diesem Fall einen durch die beschränkte Oberfläche bedingten geringen Einfluss auf den Wärmeaustausch zwischen gasförmiger und flüssiger Phase des Wassers, sodass gesamt gesehen der Wärmefluss in den Tropfen behindert wird und der Tropfen für mehrere Sekunden besteht.

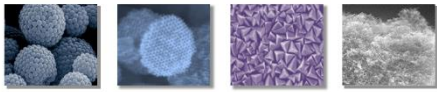
A3.17 Projekt 8: Materialien zum Theorieseminar

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

CHEMIE

NANOTECHNOLOGIE IM CHEMIEUNTERRICHT

AC-I Praktikum für Lehramtskandidaten
Georg-August-Universität Göttingen



Wintersemester 2015 / 2016


GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Was ist „Nano“?

- Vorsilbe (gr. *nános*, Zwerg), 10^{-9}
- Kurzbegriff für die Nanowissenschaften oder Nanotechnologie
- Vereint die drei „klassischen“ Naturwissenschaften

→ Definition?

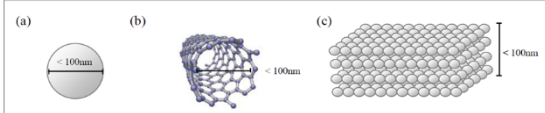


GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Form

Unterscheidung zwischen Nanopartikeln (in 3 Dimensionen nanoskalig), Nanofasern (in zwei Dimensionen nanoskalig) und Nanoplättchen (in einer Dimension nanoskalig)



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 5

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Übersicht

WAS ist Nano?

- Definition
- Größendimension, Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis, Neue Eigenschaften
- Anwendungen im Alltag

WARUM Nano?

- Relevanz
- Schüler- / Lehrerumfragen
- Nano in Kerncurriculum und Schulbüchern

EXPERIMENTE zu Nano

- Herstellung (TiO₂- und ZnO-Nanopartikel)
- Photokatalytische Aktivität
- Antibakterieller Effekt

TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 2

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Definition „Nanotechnologie“

„It depends on whom you ask.“
Steven Block

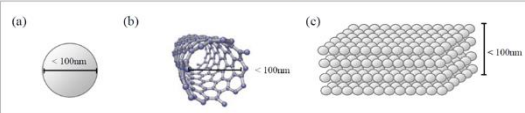
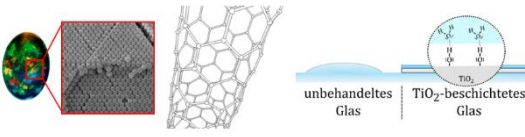
- Bislang keine eindeutige Definition, zu viele verschiedene Themenfelder mit unterschiedlichen Schwerpunkten

Nanotechnologie befasst sich mit der gezielten Konstruktion von Molekülen und Strukturen in atomarer Dimension, d.h. in einem Größenbereich zwischen einem und einigen hundert Nanometern

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Form - Beispiele

TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 6

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Größendimension

Die Bundesregierung
 Bundeskanzlerin Bundesregierung Themen Aktuelles Mediathek

Was ist Nanotechnologie?

Normalerweise bestimmen sich Technologien durch ihren Anwendungsbezug. Die Luftfahrttechnologie beispielsweise beschäftigt sich mit der Entwicklung und Verbesserung von Flugzeugen.

Die Nanotechnologie jedoch grenzt sich nicht durch ihren Anwendungsbezug von anderen Technologien ab.

Vielmehr bestimmt sich die Nanotechnologie zunächst nur durch die Größe der Materialien, die untersucht werden. Ganz allgemein sind diese kleiner als 100 Nanometer bis hin



Ein Nanometer verhält sich zu einem Meter wie eine Haselnuss zur Erde

Foto: Picture-Alliance / Photoshot



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 7

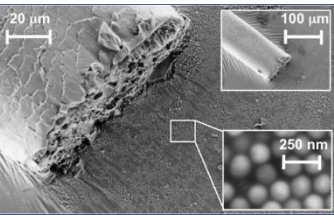


GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht


Arbeitsblatt: Erschließen der Nanodimension

Vergleich von Nanopartikeln mit der Größe eines menschlichen Haares



20 µm 100 µm 250 nm

„Wie viele Nanopartikel müssen nebeneinander gelegt werden, um den Durchmesser eines Haares zu erhalten?“



8 Partikel \triangleq 1000 nm \triangleq 1 µm
 Haar \triangleq 100 µm
 \triangleq 800 Partikel

Abb. REM-Aufnahme eines Haares und Stöberpartikeln

TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 9

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Das Würfel-Experiment

- Würfel mit Kantenlänge $a = 1\text{ cm}$
- Pro Teilung in 8 neue, identische Würfel zerlegt
- Ziel: Betrachtung der Gesamtoberfläche nach jeder Teilung



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 10

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Arbeitsblatt: Das Würfel-Experiment

- Pro Teilung in 8 neue, identische Würfel zerlegt
- Ziel: Betrachtung der Gesamtoberfläche nach jeder Teilung

Teilungen	Anzahl der Würfel	Kantenlänge a [cm]	Oberfläche A
0	1	1	6 cm ²
1	8	1/2	12 cm ²
2	64	1/4	24 cm ²
3			
4			
n			




TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 11

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Lösung: Das Würfel-Experiment



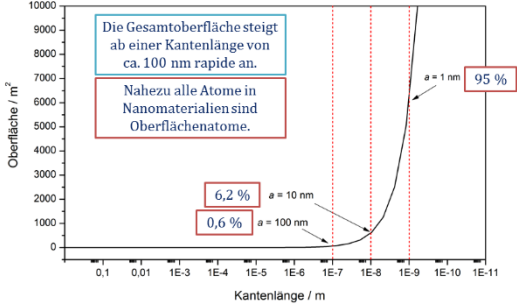
Teilungen	Anzahl der Würfel	Kantenlänge a [cm]	Oberfläche A
0	1	1	6 cm ²
1	8	1/2	12 cm ²
2	64	1/4	24 cm ²
3	512	1/8	48 cm ²
4	4.096	1/16	96 cm ²
n	8 ⁿ	a / 2 ⁿ	8 ⁿ · 6 · (a / 2 ⁿ) ²

TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 12

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Grafische Auswertung



Die Gesamtoberfläche steigt ab einer Kantenlänge von ca. 100 nm rapide an.

Nahezu alle Atome in Nanomaterialien sind Oberflächenatome.

6,2 % $a = 10\text{ nm}$
 0,6 % $a = 100\text{ nm}$
 95 % $a = 1\text{ nm}$

Oberfläche / m²

Kantenlänge / m


TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 13

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

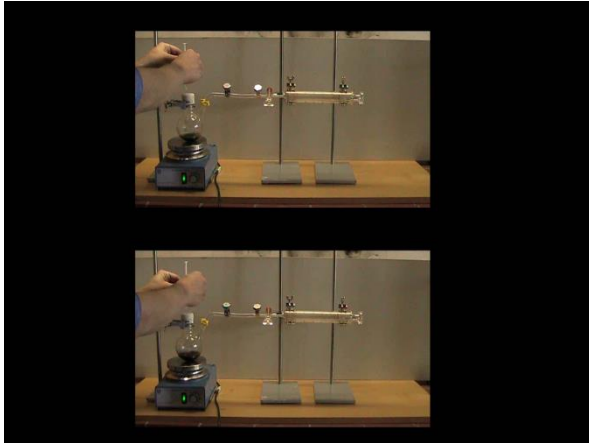
Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis

- Eine der zentralen Eigenschaften von Nanomaterialien
- Hohe Reaktivität
- Anwendungen bspw. möglich in der Gasspeicherung oder als Trägermaterialien für Katalysatoren

$$2\text{ H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{MnO}_2} 2\text{ H}_2\text{O} + \text{O}_2$$


Füllung der Poren mit Manganoxid

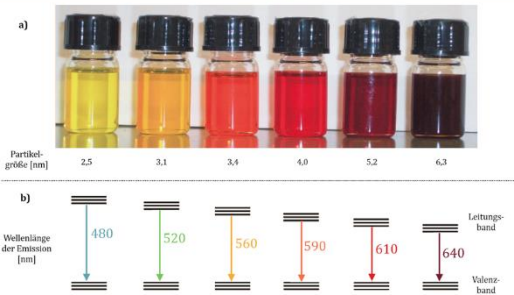
TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 15



Oberflächenatome

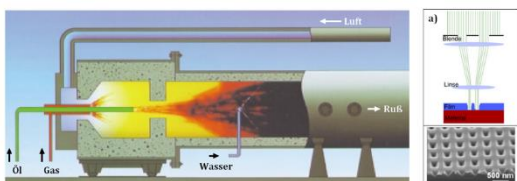
- Nahezu alle Atome in Nanomaterialien sind Oberflächenatome
 - Energetisch ungünstig → besondere Eigenschaften
 - Manche Nanomaterialien besitzen etwa ...
 - eine größere Härte oder katalytische Aktivität,
 - eine andere Farbe
 - neue Eigenschaften wie Superparamagnetismus
- ... im Vergleich zum makroskopischen Material.

Größenabhängige Effekte

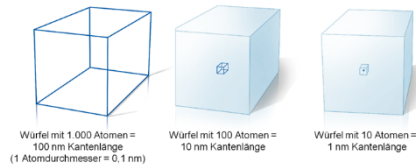


Herstellung

- Top-Down-Prozesse: Aus größeren Strukturen kleinere erzeugen (Mahlverfahren, Flammenpyrolyse, EUV-Lithographie)

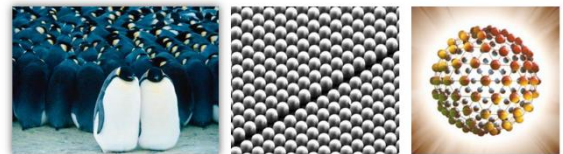


Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis



Kantenlänge [nm]	100	10	1
Oberflächenatome	ca. 6.000.000	ca. 60.000	488
Atome im Inneren	ca. 994.000.000	ca. 940.000	512
Oberfläche	600m ²	600m ²	6000m ²
Verhältnis Oberfläche-zu-Volumen	0,6 %	6,2 %	95,3 %

Neue Eigenschaften



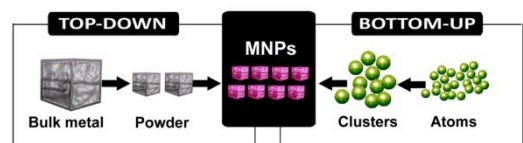
- Äußerste Schicht "koordinativ nicht abgesättigt"
- Makroskopische Partikel: Volumeneffekte
- Nanopartikel: Oberflächeneffekte

„Wir können das auch!“ (... und ihr auch!)



Herstellung

- Bottom-Up-Prozesse: Aus kleineren Teilchen (Atomen, Ionen) größeren Strukturen erzeugen (Sol-Gel-Prozesse, Agglomeration, Ostwald-Reifung, ...)



Nanostrukturierte Oberflächen



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 23

Haifischhaut

Ungefähr 3 % Kraftstoff kann auf diese Weise bei Schiffen, Autos und Flugzeugen eingespart werden – dies entspricht zum Beispiel knapp 17 Tonnen CO₂ bei einem einzigen Linienflug einer Boeing 747.



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 25

Übersicht

WAS ist Nano?

- Definition
- Größendimension, Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis, neue Eigenschaften
- Anwendungen im Alltag

WARUM Nano?

- Relevanz
- Schüler- / Lehrerumfragen
- Nano in Kerncurriculum und Schulbüchern

EXPERIMENTE zu Nano

- Herstellung (TiO₂- und ZnO-Nanopartikel)
- Photokatalytische Aktivität
- Antibakterieller Effekt

TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 27

Relevanz: Nano in der Wissenschaft

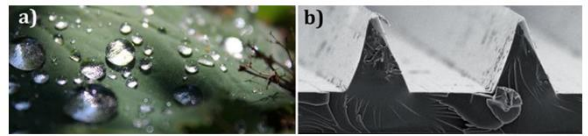
- Deutschland Spitzenreiter hinter USA und Japan



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 29

Nanostrukturierte Materialien

- A) Lotus-Effekt: Mikroskopisch kleine, superhydrophobe Wachsmoleküle
- B) „Haifischhaut“: Strömungsgünstiger Oberflächenlack verringert Verwirbelungen und Widerstand und spart Kraftstoff ein.



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 24

Zusammenfassung

Definition	Größendimension
Nanotechnologie befasst sich mit der gezielten Konstruktion von Molekülen und Strukturen in Dimension mit einem Größenbereich zwischen einem und einigen hundert Nanometern.	In diesen Größendimensionen sind nahezu alle Atome Oberflächenatome. Dies resultiert in anderen / neuen Eigenschaften für makroskopische Objekte.
Die Nanowissenschaften vereinen die drei "klassischen Naturwissenschaften". Es handelt sich um eine Plattformtechnologie und beeinflusst somit viele Domänen.	Nanomaterialien bzw. nanotechnologisch verbesserten Materialien erlauben vielfältige Anwendungen mit großem Potenzial.
Forschung und Technik	Anwendungen

WAS ist Nano?

TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 26

Relevanz: Nano im Alltag

Herstellung und Funktion von Nanoprodukten (fachliche Aspekte)

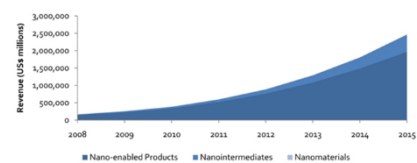
Förderung kritischen Denkens (Bewertung, Kommunikation)

Unterstützung bei der Berufsorientierung

TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 28

Relevanz: Nano in der Wirtschaft

1800 Institutionen 64.000 Mitarbeiter **Expansion**
 Vielfalt Schwierige Nachwuchsförderung
 300.000.000 € **Fördergelder**
 Weltweite Spitzenposition **Gute Personalmangel**
 Berufsaussichten **Sicherheit**



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 30

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Nanotechnologie im Kerncurriculum

TIMM WILKE | 16.12.2015 | FOLIE 31

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Nano - Schülerbefragung

- Ziel: Sammeln von Schülervorstellungen (Papierfragebogen)
 - Was stellen sich Schüler/-innen unter dem Begriff "Nano" vor?
 - Welche Anwendungsgebiete verbinden Schüler/-innen mit dem Begriff "Nano"?
 - Wie bewerten Schüler/-innen den Einfluss von "Nano" auf ihr Leben?
 - Einschätzung eigener Kenntnisse
 - "Nano" in der Schule?

TIMM WILKE | 16.12.2015 | FOLIE 33

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Nano - Schülerbefragung

	Ergebnisse / Fazit	Äußerungen
Vorstellungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einschätzen der Größenordnung ▪ Fehlvorstellungen 	<ul style="list-style-type: none"> "... etwas sehr kleines" "... kleinste Teilchen ... kleiner als Atome" "... eine Art Strom oder Licht"
Vorkommen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produkte mit "Nano" ▪ Bezug zu Physik häufiger 	<ul style="list-style-type: none"> "... iPod nano, ... vielleicht noch was bei Mikrochips" "... Blätter haben Nanostrukturen"
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zu wenig Wissen ▪ tendenziell positive Assoziationen 	<ul style="list-style-type: none"> "... bin mir nicht sicher, da ich über negativen Einfluss keine Kenntnisse habe" "... gut, da alles moderner ist"
Eigene Kenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> "... keine/wenige (95 %)" "... einige/viele (5 %)" 	<p>"Nano" im Unterricht?</p> <ul style="list-style-type: none"> "... ja (87 %)" "... nein (13 %)"

TIMM WILKE | 16.12.2015 | FOLIE 34

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Nano - Lehrerbefragung

- "Nano" sollte größere Rolle spielen (66 %)
- Bereits eine Unterrichtsstunde gehalten (0 %)
- Interesse an Fortbildungen (53 %)
- Barrieren:
 - Zeitmangel,
 - kein Bezug zum KC,
 - eigene Kenntnisse,
 - Schulausstattung,
 - fehlendes Unterrichtsmaterial

TIMM WILKE | 16.12.2015 | FOLIE 35

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Schulbuchanalyse

- Chemie (12 Schulbücher)
 - Thema "Nano" wird selten aufgegriffen
 - CNT, C60
 - Experimente mit Nanomaterialien
 - 1 Experiment
- Physik, Biologie (11 Schulbücher)
 - "Nano"
 - kein Bezug

TIMM WILKE | 16.12.2015 | FOLIE 36

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Zusammenfassung

Relevanz	Kerncurriculum
Nano ist in Alltag, Wirt- und Wissenschaft stark vertreten.	Ungeachtet dessen findet sich dieser Themenbereich nahezu gar nicht in Kerncurricula oder Schulbüchern.
SuS haben wenig Kenntnisse über Nano aber großes Interesse an einer unterrichtlichen Behandlung.	Bei Lehrern verhält es sich ebenso
Schülerumfrage	Lehrerumfrage

TIMM WILKE | 16.12.2015 | FOLIE 37

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Übersicht

WAS ist Nano?

- Definition
- Größendimension, Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis, neue Eigenschaften
- Anwendungen im Alltag

WARUM Nano?

- Relevanz
- Schüler- / Lehrerumfragen
- Nano in Kerncurriculum und Schulbüchern

EXPERIMENTE zu Nano

- Herstellung (TiO₂- und ZnO-Nanopartikel)
- Photokatalytische Aktivität
- Antibakterieller Effekt

TIMM WILKE | 16.12.2015 | FOLIE 38

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Nano in Chemieunterricht und Schülerlabor

Nanoporöse Materialien

Gassensoren

Silica

Zinkoxid

Titandioxid

TIMM WILKE | 16.12.2015 | FOLIE 39

Titandioxid Nanopartikel aus Sonnencreme

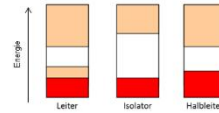


TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 40

Zinkoxid



- Halbleiter
- Bandlücke: 3,35 eV
- Absorbiert UV-Licht
- .. und fluoresziert bei einer bestimmten Partikelgröße

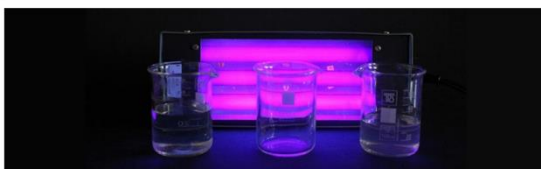


TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 41

Synthese von Zinkoxid-Nanopartikeln

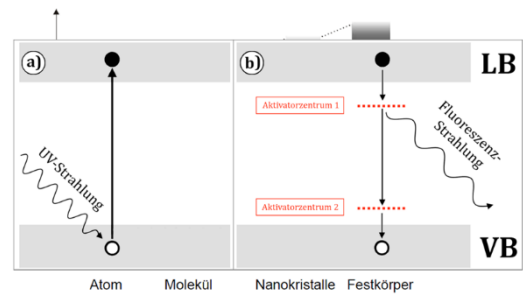
Einfache Synthese über eine Fällungsreaktion mit gängigen und ungefährlichen Chemikalien

→ Ethanol, Natriumhydroxid und Zinkacetat



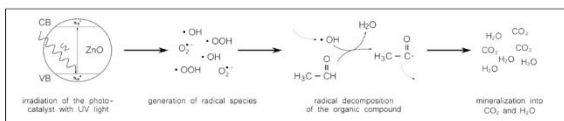
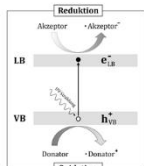
TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 42

Fluoreszenz



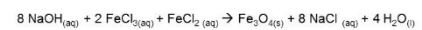
TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 43

Photokatalyse



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 44

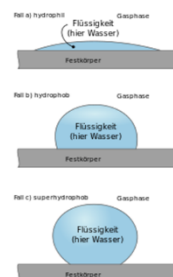
Superparamagnetismus und Ferrofluide



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 45

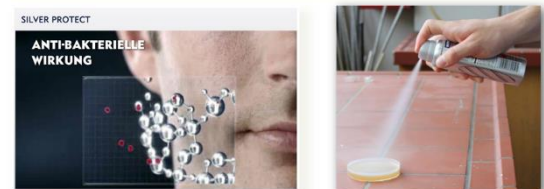
Superhydrophobe Oberflächen

- Hydrophil: 0 – 90°
- Hydrophob: 90 – 160°
- Superhydrophob: > 160°



TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 46

Antimikrobielles Nanosilber



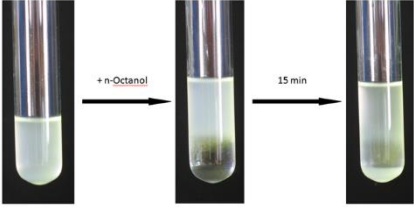
- Nivea: Bewerbung der antimikrobielle Wirkung von Nano-Silber
- Verwendung zusätzlich in Textilien (Funktionsunterwäsche etc.)

TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 47

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Risiken?!



- Octanol-Wasser-System dient als Modell für biol. Membranen
- ZnO Nanopartikel können Zellmembranen passieren

TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 48

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

Nanotechnologie im Chemieunterricht

Ablauf

- V1: Isolation von TiO_2 ODER
- V2: Synthese von ZnO-Nanop.
- V3: Entfärbung von Methyleneblau
- V4: „Zwiebelesenz“
- V5: Superparamagnetismus
- V6: Superhydrophobe Oberfläche
- V7: Superhydrophile Oberflächen

TIMM WILKE 16.12.2015 FOLIE 50

A3.18 Projekt 8: Skript zum Laborpraktikum

Anmerkung: Musterlösungen sind grau in die entsprechenden Felder eingetragen.

Kapitel 17

Nanotechnologie

Stichwörter zur Vorbereitung (optional):

- Größendimension von Nanomaterialien
- Vorkommen in (Alltags-)Materialien
- Fluoreszenz
- Photokatalyse
- Hydrophilie / Hydrophobie

17.1 Isolation: Titandioxid Nanopartikel aus Sonnencreme

Führen Sie entweder Versuch 17.1 oder 17.2 durch!

In diesem Versuch soll der mineralische Filter Titandioxid aus Sonnencreme isoliert werden. Die Partikel werden heutzutage vorwiegend in Nanometergröße in der Creme verarbeitet. Die Firma von der die Sonnencreme stammt, gab auf Anfrage an, dass die Partikel in die Größendimension von unter 100 nm fallen.

Chemikalien: Titandioxid-haltige Sonnencreme mit rein mineralischen Filtern und hohem LSF. Ideal: *Alverde Baby Sonnenbalsam 30* (erhältlich bei dm)

Geräte: Porzellantiegel, Tondreieck, Dreifuß, Tiegelzange, Bunsenbrenner

Entsorgung: Die Sonnencreme kann über den Hausmüll entsorgt werden.



Arbeiten Sie unter dem **ABZUG**.

Ein Teil des erhaltenen mineralischen Filters wird für Versuch 3 benötigt.

Versuchsdurchführung:

- *Etwa 6 g Sonnencreme werden über Nacht in einem Porzellantiegel bei 120 °C in einem Trockenschrank oder Ofen getrocknet. (Ist bereits für Sie vorbereitet und steht fertig aus).*
- *Die getrocknete Sonnencreme wird zunächst so lange kräftig **von oben** mit einem Bunsenbrenner erhitzt, bis die Probe selbst brennt. Anschließend wird der Tiegel zusätzlich auch von allen anderen Seiten erhitzt, bis ein weißes Pulver übrigbleibt.*

Beobachtung:

Nach dem Erhitzen von oben beginnt die Sonnencreme, zu brennen. Zurück bleibt zunächst schwarze Asche. Nach weiterem Erhitzen bleibt ein weißer Feststoff zurück.

Deutung:

Durch die Hitze werden organischen Bestandteile (Öle, Fette, Glycerin etc.) verbrannt. Der mineralische UV-Filter der Sonnencreme (anorganische Titandioxid-Nanopartikel) bleibt als weißer Feststoff zurück.



17.2 Herstellung von Zinkoxid-Nanopartikeln

Führen Sie entweder Versuch 17.1 oder 17.2 durch!

Bei der Herstellung von Nanopartikeln können zwei wesentliche Strategien unterschieden werden: Einerseits können in Top-Down-Prozessen aus größeren Strukturen kleinere erzeugt werden. Andererseits können in Bottom-Up-Prozessen aus kleinen Strukturen (bspw. Ionen) größere, nanoskalige Strukturen gebildet werden. In dem folgenden Versuch werden Zinkoxid-Nanopartikel in einem Bottom-Up-Prozess durch Fällung synthetisiert.



Chemikalien: Ethanol (GHS02), Natriumhydroxid-Plätzchen (GHS05), Zinkacetat-dihydrat (GHS07, GHS09)

Geräte: Magnetrührer, 2 Bechergläser, Thermometer, UV-Lampe

Entsorgung: Lösungen in den Behälter für anorganische Säuren und saure Metallsalzlösungen geben.



Es ist darauf zu achten, dass sich die Edukte vollständig in Ethanol lösen.

Ein Teil des Zinkoxids wird für Versuch 3 benötigt.

Versuchsdurchführung:

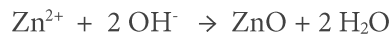
- In einem 250 mL Becherglas werden 2,2 g Zinkacetatdihydrat in 100 mL Ethanol bei ca. 65 °C unter Rühren erwärmt, bis sich der Feststoff vollständig löst. Das Becherglas wird dabei mit einem Uhrglas bedeckt. Dieser Vorgang benötigt ca. 15 Minuten.
- Parallel dazu wird eine 0,2 molare ethanolische Natriumhydroxid-Lösung hergestellt, indem 0,28 g gemörserte Natriumhydroxid-Plätzchen in 35 mL Ethanol bei ca. 40 °C unter stetigem Rühren gelöst werden. Auch hier ist darauf zu achten, dass sich der Feststoff vollständig löst.
- Sobald beide Feststoffe gelöst sind, werden beide Lösungen im Dunkeln unter UV-Licht betrachtet. Anschließend wird (immer noch unter UV-Licht) die noch warme Natriumhydroxid-Lösung in die ethanolische Zinkacetat-Lösung gegeben.

Beobachtung:

Unter UV-Licht zeigen beide Lösungen keine Fluoreszenz; erst nach dem Zusammengeben beginnt die Lösung, nach wenigen Sekunden intensiv gelblich-grün zu fluoreszieren.

Reaktionsgleichung:

oder einfacher:

**Tipps zur Aufstellung der Reaktionsgleichung**

1. Bestimmen Sie zunächst alle Stoffe / Chemikalien die an der Reaktion beteiligt sein könnten!
2. Reduzieren Sie die auf die reagierenden Edukte.
3. Gleichen Sie nun beide Seiten stöchiometrisch aus!

Erweiterte Tipps

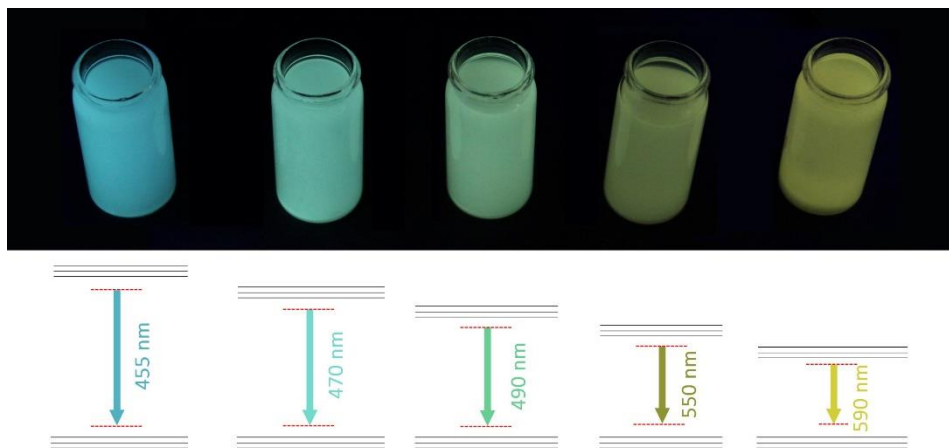
2. Das Kristallwasser von Zinkacetat nimmt nicht an der Fällungsreaktion teil.
3. Ethanol dient nur als Lösungsmittel.
4. Der Versuch würde alternativ auch mit Zink-Chlorid (ZnCl_2) gelingen.
5. $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{NaOH} \rightarrow \dots$
6. Bei der Reaktion entsteht unter anderem Wasser als Produkt.

Deutung:

Das entstehende nanoskalige ZnO absorbiert UV-Strahlung und emittiert energieärmere gelbe Fluoreszenz-Strahlung.

Weitere Informationen für die Assistenten:

Dieser Vorgang ist abhängig von der Partikelgröße und eine Fluoreszenz im Bereich des sichtbaren Lichtes ist bei einer Partikelgröße zwischen 2 – 8 nm wahrzunehmen. Je nach Partikelgröße ändert sich zudem die Größe der Bandlücke zwischen Valenz- und Leitungsband und damit auch die Farbe der Fluoreszenz. Abhängig von der Temperatur und Konzentration der Ausgangslösungen entstehen unterschiedlich große ZnO-Partikel, weshalb sich die Fluoreszenzfarbe Ergebnis bei den Studierenden farblich leicht unterscheiden kann.



A-Abb. 30 - Unterschiedliche Fluoreszenzfarben von ZnO-Nanopartikeln.



17.3 Photokatalytische Entfärbung von Methylenblau

Die Halbleiter Zinkoxid-Nanopartikel und Titandioxid-Nanopartikel finden in vielen industriellen Prozessen Verwendung als Photokatalysatoren. Sie können organische Verbindungen, wie etwa Methylenblau, Malachitgrün und weitere, unter Einwirkung von UV-Licht abbauen. Das Verfahren findet bereits in selbstreinigenden Häuserfassaden zum Schutz gegen Algenbewuchs Anwendung; zusätzlich können auf diesem Wege Gewässer und selbst die Luft gereinigt werden.



Chemikalien: Zinkoxid oder Titandioxid Nanopartikel (aus Versuch 1 bzw. 2), Methylenblau (GHS07), Malachitgrün (GHS05, GHS06, GHS08, GHS09), demineralisiertes Wasser

Geräte: UV-Lampe, Stativmaterial, Schnappdeckelglas, Becherglas

Entsorgung: Lösungen in den Behälter für anorganische Säuren und saure Metallsalzlösungen geben.



Der Versuch benötigt ca. eine Viertelstunde Belichtungszeit, dies sollte bei der Zeitplanung berücksichtigt werden.

Bei dem Ansetzen der Farbstoff-Lösungen sollte ein Assistent anwesend sein. Es gilt „weniger ist mehr“, denn je intensiver die Farbe ist, desto länger dauert anschließend auch das Experiment.

Versuchsdurchführung:

- **Wenn Versuch 17.1 (Titandioxid-Nanopartikel) durchgeführt wurde:**

Zur Herstellung einer wässrigen Methylenblau-Lösung werden 2 Tropfen Methylenblau in 50 mL Wasser gegeben und vermengt. 15 mL der Methylenblaulösung werden mit ein bis zwei Spatelspitzen Titandioxid-Nanopartikeln aus Versuch 1 versetzt.

- **Wenn Versuch 17.2 (Zinkoxid-Nanopartikel) durchgeführt wurde:**

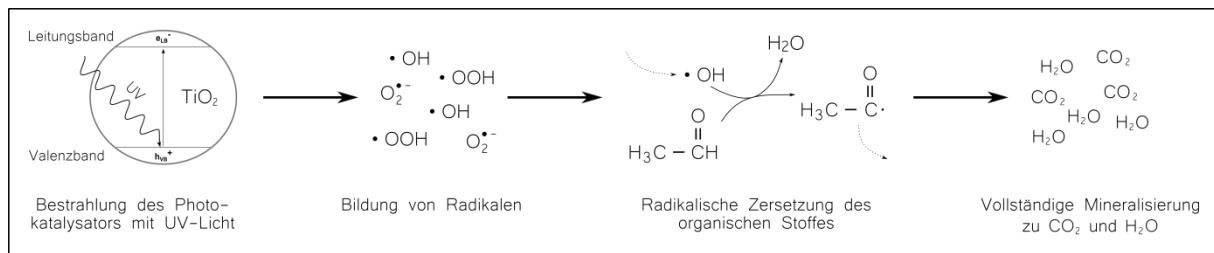
Zur Herstellung einer ethanolschen Malachitgrün-Lösung wird ein (!) Kristall in 50 mL Ethanol gelöst. 15 mL dieser Malachitgrün-Lösung werden mit 5 mL der Zinkoxidnanopartikel-Lösung aus Versuch 2 versetzt.

- Die Lösung wird für eine Viertelstunde mit UV-Licht bestrahlt (Ultra-Vitalux-Lampe).

Beobachtung:

Die Lösung entfärbt sich nach wenigen Minuten unter UV-Licht.

Deuten Sie die Entfärbung der Lösung mithilfe folgender Abbildung:



A-Abb. 31 – Vereinfachte Darstellung der photokatalytischen Zersetzung eines organischen Stoffes.

Das UV-Licht regt die Valenzbandelektronen des Halbleiters an und promoviert sie in das Leitungsband (Schritt 1 der Abbildung). Die angeregten Elektronen im Leitungsband werden auf umgebende Moleküle (Akzeptoren wie bspw. Wasser oder Ethanol) übertragen und bilden so Radikale. Die parallel entstandenen Löcher im Valenzband nehmen hingegen Elektronen von umgebenden Donatoren auf; in beiden Fällen entstehen verschiedene Radikalspezies (Schritt 2). Diese Radikale zersetzen nun die organischen Verbindungen (Methylenblau oder Malachitgrün, Schritt 3) zu Kohlenstoffdioxid und Wasser, wenn die Bestrahlung lang genug andauert (Schritt 4).



17.4 „Zwiebelesenz“

Einige sehr kleine Nanopartikel (< 10 nm) sind aufgrund ihrer geringen Größe in der Lage, Barrieren wie etwa unsere Hautschichten, semipermeable Membranen, Zellmembranen oder gar die Blut-Hirn-Schranke zu überwinden. In diesem Versuch soll die Diffusion von den hergestellten Zinkoxid-Nanopartikeln (s. Versuch 17.2) durch die Zellmembran einer Zwiebel modellhaft untersucht werden.

Chemikalien: Zinkoxid-Nanopartikel aus Versuch 2 (bitte teilen Sie ggf. mit anderen Gruppen, die den Versuch 17.1 durchgeführt haben), Zwiebel

Geräte: Becherglas, Schneidmesser, Schneidebrett, Pinzette oder Tiegelzange, UV-Lampe

Entsorgung: Lösungen im Behälter für anorganische Säuren und saure Metallsalzlösungen entsorgen.

Versuchsdurchführung:

- *Eine halbe frische Zwiebel wird mit dem Schneidmesser in kleine, fingernagelgroße Stücke geschnitten. Einige Stücke werden als Referenz beiseitegelegt, der Rest wird für 5 Minuten in einem Becherglas mit Zinkoxid-Nanopartikeln in Ethanol (aus Versuch 17.2) gegeben.*
- *Anschließend werden die Zwiebelstücke mit der Pinzette oder Tiegelzange aus dem Becherglas genommen und mit reichlich fließendem Wasser abgespült (ca. 10 Sekunden oder länger), um alle Zinkoxid-Rückstände an der Oberfläche zu entfernen.*
- *Zuletzt werden die behandelten Zwiebelstücke und die anfangs beiseitegelegten Stücke als Referenz in einem dunklen Raum unter UV-Licht betrachtet.*

Beobachtung:

Die eingelegten Stücke zeigen unter UV-Licht auch nach dem Abwaschen eine intensive gelbe Fluoreszenz.

Deutung:

Zinkoxid-Nanopartikel können aufgrund ihrer kleinen Größe entweder die Zellmembran von Pflanzenzellen durchdringen oder sich zumindest an diese anlagern. Dieser Sachverhalt ist noch nicht endgültig geklärt, beide Fälle werfen allerdings ein Gefährdungspotenzial auf.

Zum Nachdenken: Was sagt das Versuchsergebnis über das mögliche Gefahrenpotenzial von Nanopartikeln mit $\emptyset < 10$ nm im Allgemeinen und Zinkoxid-Nanopartikeln im Besonderen aus?

Im vorherigen Versuch wurde gezeigt, dass Zinkoxid-Nanopartikel mit UV-Licht Radikale generieren können. Ob nun auf der Zellmembran oder sogar innerhalb der Zelle – in beiden Fällen kann es schwerwiegende Folgen haben, wenn dort, beispielsweise mit UV-Strahlung aus Sonnenlicht, Radikale erzeugt werden. Insbesondere innerhalb der Zelle kann dies sogar die DNA und damit unser Erbgut schädigen.

Zum Gefährdungspotenzial dieses Versuchs:

Die hergestellten Zinkoxid-Nanopartikel agglomerieren sofort in Wasser zu größeren Partikeln (Ostwald-Reifung), wodurch sie Ihre Eigenschaften wieder verlieren. Dennoch sind sie als Modell für das Gefährdungspotenzial nanoskaliger Materialien geeignet; darüber hinaus ist natürlich trotzdem Vorsicht im Umgang mit diesen Materialien geboten!



17.5 Superparamagnetismus und Ferrofluide

Der Superparamagnetismus ist eine Übergangsform von Ferromagnetismus zum Paramagnetismus, die nur bei sehr kleinen, nanoskaligen Partikeln (< 10 nm) auftritt. Ferrofluide richten sich in Magnetfeld eines Paramagneten in dessen Richtung aus und erlangen dadurch eine makroskopische Magnetisierung. Durch die sich ausrichtenden und abstoßenden Felder wird die Oberflächenspannung der Flüssigkeit überwunden und es bilden sich sichtbare Rosenzweigstacheln.



Chemikalien: Eisen(III)-Chlorid-Hexahydrat (GHS05, GHS07), Eisen(II)-Chlorid-Tetrahydrat (GHS05, GHS07), Natriumhydroxid-Plätzchen (GHS05), demineralisiertes Wasser

Geräte: Bechergläser, Magnetrührer, Magnet

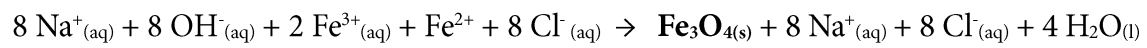
Entsorgung: Die Lösung wird in den Feststoffabfall gegeben.

Versuchsdurchführung:

- *5,34 g Eisen(III)-Chlorid-Hexahydrat werden in einem Becherglas (100 mL) mit 25 mL demineralisiertem Wasser versetzt.*
- *In einem zweiten Becherglas (50 mL) werden 2 g Eisen(II)-Chlorid-Tetrahydrat mit 20 mL demineralisiertem Wasser versetzt.*
- *Beide Metallsalz-Lösungen werden so lange mit einem Magnetrührer gerührt, bis die Salze vollständig gelöst sind. Danach werden die Lösungen vereinigt und gut durchgerührt.*
- *In einem 400 mL Becherglas werden 8 g Natriumhydroxid-Plätzchen in 200 mL demin. Wasser vollständig gelöst.*
- *Unter stetigem Rühren wird die vereinigte Metallsalz-Lösung relativ zügig zu der Natriumhydroxid-Lösung gegeben. Es bildet sich sofort eine Suspension von Nano-Magnetit.*
- *Das Becherglas wird von dem Magnetrührer genommen und gewartet, bis sich der schwarze Feststoff am Boden abgesetzt hat. Danach wird die überstehende Lösung vorsichtig abgeschüttelt.*
- *Ein Neodym-Magnet wird an die Seite des Becherglases gehalten.*

Beobachtung:

Bei richtigem Abstand der Permanentmagneten von der Unterseite des Becherglases bildet sich ein Hügel / Rosenzweig über der Lösung aus. Falls der Effekt im Becherglas schlecht sichtbar ist kann auch eine Petrischale oder ein Uhrglas genutzt werden. Unbedingt einen Neodym-Magneten verwenden!

RG.:**Deutung:**

Das Ferrofluid tritt in die Magnetfeldlinien des Permanentmagneten ein und überwindet bei geeignetem Abstand die Oberflächenspannung des Wassers.



17.6 Superhydrophobe Oberflächen

In den 60er Jahren stellten Biologen fest, dass einige Pflanzen weniger Schmutz auf ihren Blättern aufweisen als andere und dass dieser Effekt auf ihrer besonderen Oberfläche beruht. Diese Erscheinung wurde nach einem prominenten Beispiel für eine solche Pflanze „Lotuseffekt“ genannt. Die selbstreinigende Eigenschaft dieser Pflanzen beruht dabei auf ihren superhydrophoben Oberflächen, auf der Wassertropfen einfach abperlen und dabei Verschmutzungen, wie Staub, Pollen etc. mitreißen. In diesem Versuch soll dieser superhydrophobe Effekt, der in unseren Breitengraden bei der Kapuzinerkresse sichtbar ist, nachgeahmt werden.

Chemikalien: --

Geräte: Objektträger, Tiegelzange, Feuerzeug oder Bunsenbrenner, Pasteurpipette

Entsorgung: Der Objektträger wird im gereinigt und kann erneut verwendet werden

Versuchsdurchführung:

- *Ein Objektträger wird in die gelbe Flamme eines Feuerzeuges oder Bunsenbrenners (vorsichtig: bei zu starker Hitzeeinwirkung kann das Glas springen) gehalten, bis sich eine gleichmäßige und tiefschwarze Rußschicht bildet. Auf den abgekühlten Objektträger wird mit einer Pipette ein Tropfen Wasser gegeben.*

Beobachtung:

Der Wassertropfen zeigt eine runde Form und perlt auf der Rußschicht des Objektträgers ab.

Deutung:

Durch die unpolare Rußschicht werden der Kontaktwinkel und damit auch die Kontaktfläche von Wasser und der Oberfläche extrem verringert. Genauer: Die Adhäsionskraft zwischen Ruß und Wasser ist geringer als die Kohäsionskraft des Wassertropfens, weshalb sich runde Tropfen bilden, welche an der superhydrophoben Oberfläche abperlen.



17.7 Superhydrophile Oberflächen

Im folgenden Versuch soll ein Konzept zur Beschichtung von Glasscheiben mit einer superhydrophilen Schicht dargestellt werden. Aufgrund der Tröpfchenbildung von Wasser sind (Windschutz-)Scheiben bei Regen nur schwer zu durchblicken. Durch die Beschichtung mit einem passenden Material wird Wasser entweder abgestoßen und bildet leicht abfließende Tröpfchen (hydrophobe Beschichtung, „Lotus-Effekt“, siehe vorheriger Versuch) oder stärker angezogen, sodass es einen transparenten, gleichmäßigen Film bildet (hydrophile Beschichtung). Zudem wird organischer Schmutz, wie etwa Fingerabdrücke, mit Hilfe von Sonnenlicht photokatalytisch zersetzt (siehe Versuch 17.3). Gläser dieser Art werden unter den Bezeichnungen „selbstreinigend“ oder „easy-to-clean“ angeboten.



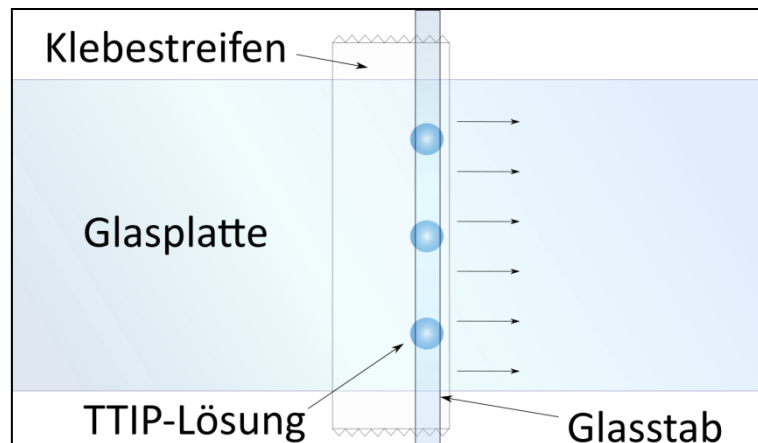
Chemikalien: Ethanol, Titan(IV)-tetraisopropoxid (TTIP, GHS02, GHS07), konzentrierte Salzsäure (GHS05, GHS07)

Geräte: Glasplatte, Glasstab, Tesafilm, Becherglas (50 mL), Rührfisch, Sprühflasche, Pipette

Entsorgung: Die TTIP-Lösung wird im Behälter für anorganische Säuren gegeben.

Versuchsdurchführung:

- Für die benötigte TTIP-Lösung werden in einem 50 mL Becherglas 25mL Ethanol mit 1,8 mL konzentrierter Salzsäure versetzt. Anschließend werden 5 mL Titan(IV)-tetraisopropoxid zugegeben. Die Lösung wird vor Luftfeuchtigkeit geschützt (bspw. mit Parafilm) etwa fünf Minuten lang gerührt.
- Zunächst wird die zu beschichtende Glasoberfläche mit Ethanol gereinigt, anschließend wird die linke Hälfte zum späteren Vergleich mit Tesafilm abgeklebt. Mit einer Pipette werden vorsichtig 3 Tropfen der hergestellten TTIP-Lösung auf die rechte Hälfte des Tesafilmstreifens gegeben. Danach wird die Flüssigkeit vorsichtig mit einem Glasstab nach rechts auf die unbedeckte Seite abgezogen (siehe Abbildung).

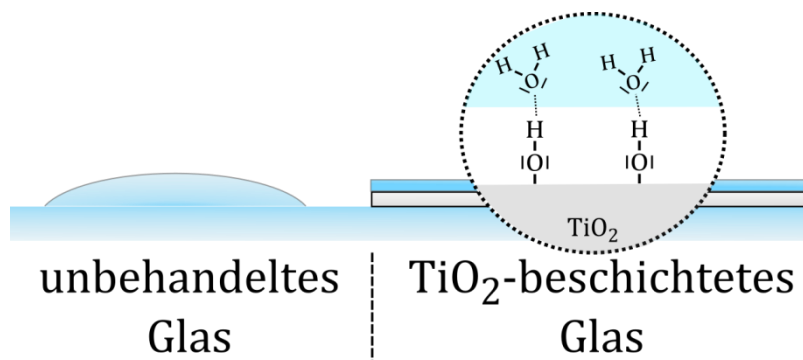


A-Abb. 32 – Anleitung zur Beschichtung eines Objektträgers mit TTIP-Lösung.

Beobachtung:

Die mit TTIP-Lösung behandelte Seite des Objektträgers bleibt klar, ein dünner Wasserfilm ist zu erkennen. Auf der unbehandelten Seite hingegen bilden sich Wassertropfen, sodass schlecht hindurchgeschaut werden kann.

Deuten Sie Ihre Beobachtungen mit Hilfe folgender Abbildung [25]:



A-Abb. 33 – Schema der Oberfläche des unbehandelten und TiO₂-beschichteten Glas.

Auf der mit TTIP behandelten Seite bildet sich eine nanometerdünne Titandioxid-Schicht. Diese ist – ebenso wie Wasser – hydrophil, sodass sich durch Luftfeuchtigkeit eine Schicht Hydroxyl-Gruppen darauf bildet. Beim Besprühen mit Wasser bildet sich nun ein dünner, gleichmäßiger Wasserfilm, durch den viel besser durchgesehen werden kann - es handelt sich um eine superhydrophile Beschichtung.



A3.19 Projekt 8: Fragebogen zur Evaluation von Theorieseminar und Laborpraktikum

Feedback zum „Nano-Tag“ im AC-I-LAK Praktikum

1. Was hat dir an dem Seminar zum Nano-Tag ...

... gut gefallen?	... nicht so gut gefallen?
-------------------	----------------------------

2. Was hättest Du dir ggf. noch von dem Seminar erhofft?

3. Was hat dir an dem Praktikum zum Nano-Tag ...

... gut gefallen?	... nicht so gut gefallen?
-------------------	----------------------------

4. Was hättest Du dir ggf. noch von dem Praktikum erhofft?

4. Bitte ergänze folgende Sätze:

Das Wichtigste, was ich zum Thema Nano gelernt habe, ist...

Das Wichtigste, was ich zum Thema Nano gelernt habe, ist...

5. Würdest du in deinem Studium gerne mehr zum Thema „Nano“ erfahren?

Ja, viel mehr *Ja, etwas mehr* *Nein, nichts mehr*

6. Insgesamt bewerte ich den Nano-Tag für meinen späteren Beruf als ...

Sehr hilfreich *Hilfreich* *Wenig hilfreich* *Nicht hilfreich*

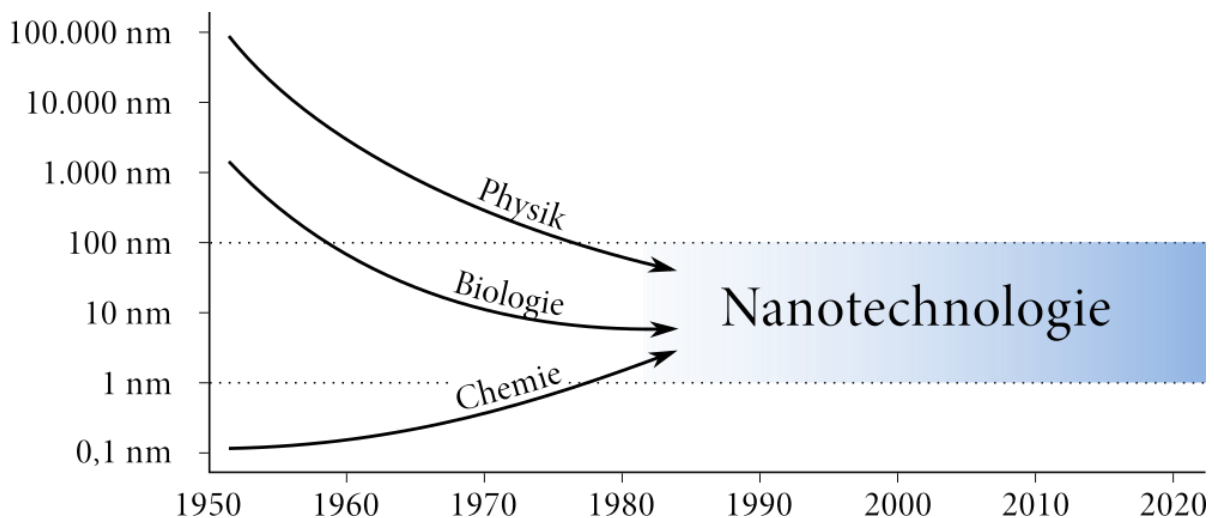
A3.20 Materialien zur Lehrerfortbildung: „Nano“ – Eine Dimension mit hohem didaktischen Potenzial für den Chemieunterricht

Nanotechnologie

„There’s plenty of room at the bottom“^[6] – bereits im Jahr 1959 erkannte der Physiker und Nobelpreisträger Richard Feynman das Potenzial der Chemie in nanoskopischen Dimensionen. Er stellte die Frage, warum man die 24-bändige Gesamtausgabe der *Encyclopedia Britannica* nicht auf einen Stecknadelkopf drucken könne. Platz ist reichlich vorhanden – allein in den Punkt am Ende dieses Satzes passen insgesamt ca. 250 Milliarden Nanopartikel aus Ruß und damit weit mehr Informationen als erforderlich^[7].

In der heutigen Zeit ist diese Erkenntnis alltäglich sichtbar geworden und die Nanotechnologie wird von vielen Wirt- und Wissenschaftlern als eine der prägenden Technologien für das kommende Jahrhundert bezeichnet^[8]. Es existieren bereits heute zahlreiche Anwendungsbeispiele für Nanomaterialien, angefangen bei schmutz- und wasserabweisenden nano-TEX-Fasern^[9] über magnetischen Nanolack^[10] bis hin zu Farb- und Geschmacksstoffen in Lebensmitteln^[11]. Da es sich bei der Nanotechnologie um eine Plattformtechnologie⁸ handelt, wird ihr sogar das Potenzial zugesprochen, ganze Technikfelder von Grund auf verändern zu können.

Doch was genau verbirgt sich hinter dieser Bezeichnung? Kurz gefasst handelt es sich bei der Nanotechnologie um ein Produkt der Nanowissenschaften, welches Biologie, Physik und Chemie gänzlich vereint (siehe A-Abb. 34)^[12].



A-Abb. 34 – Nanotechnologie als interdisziplinäre Wissenschaft.

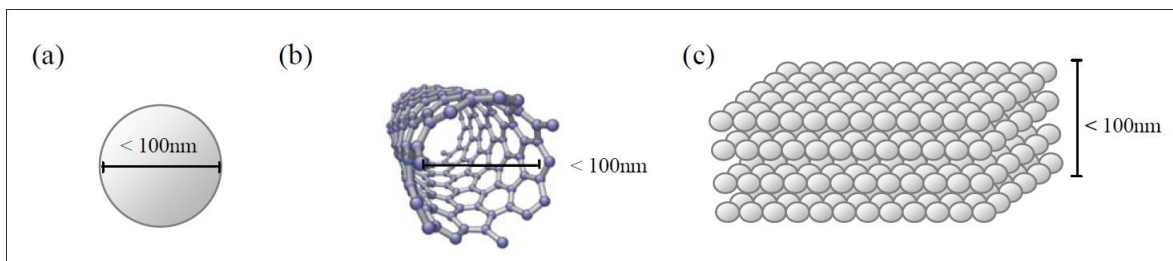
Ungeachtet dieser Beachtung in dem Wissenschaftsbereich wurde allerdings bisher noch kein detaillierter Fokus auf eine umfassende Erschließung von chemiedidaktischer Seite für den Unterricht gelegt, sodass diese Thematik bisher noch kaum Einzug in die Schule gefunden hat. Dieser Umstand beruht auf mehreren Ursachen: Bei der Nanotechnologie handelt es sich um

⁸ Als Plattformtechnologie werden Technologien bezeichnet, welche die Entwicklung einer Reihe von weiteren Produkten ermöglichen und/oder beschleunigen. So ermöglichte beispielsweise die Erfindung des Motors die Entwicklung von Autos, Nutzmashinen, Generatoren etc.

eine recht junge Disziplin ^[13] und vielmehr um ein interdisziplinäres Technologiefeld als eine spezifische Technologie im engeren Sinne. Daher existiert bislang keine umfassende und konsensfähige Definition der Nanotechnologie, da diese zu viele verschiedene Elemente verbinden müsste, um alle Facetten zufriedenstellend zu erklären. Für die Arbeit mit der vorliegenden Unterrichtseinheit im Kontext des schulischen Einsatzes kann aber als Arbeitsdefinition festgehalten werden:

„Nanotechnologie befasst sich mit der gezielten Konstruktion von Molekülen und Strukturen in atomarer Dimension, d.h. in einem Größenbereich zwischen einem und einigen hundert Nanometern.“ ^[14, 15]

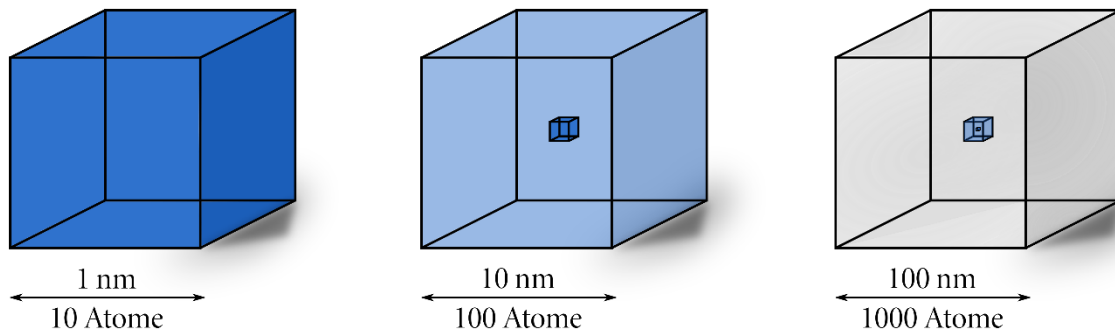
Den entstehenden Nanomaterialien sind hinsichtlich ihrer Form kaum Grenzen gesetzt. Dabei wird jedoch unterschieden zwischen Nanopartikeln (in 3 Dimensionen nanoskalig), Nanofasern (in zwei Dimensionen nanoskalig) und Nanoplättchen (in einer Dimension nanoskalig), wie in A-Abb. 35 dargestellt wird ^[7].



A-Abb. 35 – a) Nanopartikel, b) Nanotube, c) Nanoplättchen. Quelle: Verändert nach ^[14].

Rolle der Oberfläche bei Nanomaterialien

Die geringe Größe der Strukturen von Nanomaterialien ist die Ursache für die charakteristischen Eigenschaften von nanoskaligen Elementen und Verbindungen. Es ist charakteristisch für Nanoteilchen, dass es näherungsweise genauso viele Oberflächenatome wie Atome im Volumen des Teilchens gibt. Dieses **Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis** wird durch folgendes Gedankenexperiment verdeutlicht: Betrachtet werden drei Würfel aus Eisenatomen (als Atomdurchmesser wird vereinfacht 0,1 nm angenommen) mit verschiedenen Kantenlängen: 100, 10 und 1 Nanometer. Setzt man nun die Anzahl der Oberflächenatome mit den Atomen im Inneren in ein Verhältnis, stellt man fest, dass bei fallender Kantenlänge immer mehr Atome an der Oberfläche liegen, bis das Teilchen nahezu ausschließlich aus Oberflächenatomen besteht (siehe A-Abb. 36).



Kantenlänge [nm]	100	10	1
Verhältnis Oberfläche-zu-Volumen	0,6 %	6,2 %	95,3 %

A-Abb. 36 – Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis verschiedener Würfel ^[16, 17].

Genau die Eigenschaften dieser Oberflächenatome bzw. dieser Grenzflächen prägen durch den Kontakt mit der Umwelt das Reaktionsverhalten des betreffenden Moleküls. Da jeder Austausch mit der Umwelt über Grenzflächen stattfindet ^[18], spielt dieser Effekt eine große Rolle; insbesondere für die Reaktivität bzw. die Katalyse ergeben sich hier vielfältige (Struktur-Eigenschafts)-Zusammenhänge.

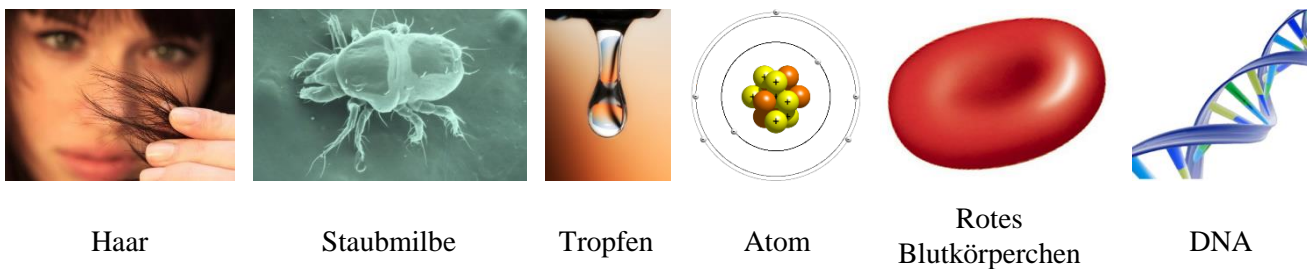
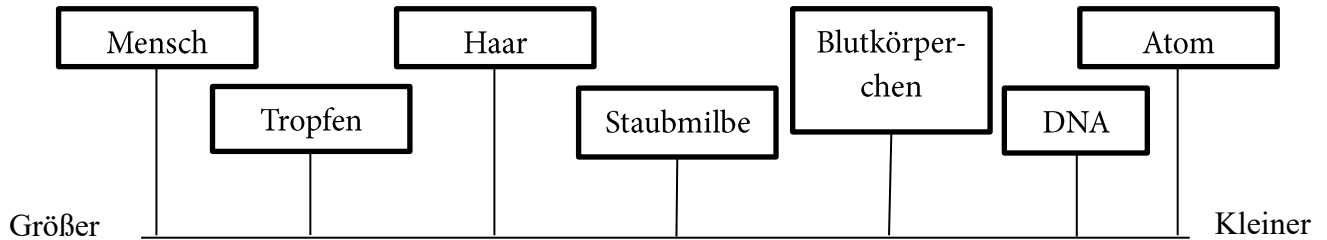
Ein weiterer wichtiger Unterschied ist, dass an der Partikeloberfläche Atome oder Ionen mit koordinativ nicht abgesättigten Bindungs- und Koordinationsstellen vorliegen. Diese besitzen einen energetisch ungünstigeren Zustand und weisen folglich veränderte Eigenschaften auf. Bei Festkörpern mit einer quasi-unendlichen Kantenlänge spielt dieser Effekt keine Rolle. Bei Nanopartikeln hingegen, die zum großen Teil aus Oberflächenatomen bestehen, werden die chemisch-physikalischen Eigenschaften durch den gestiegenen Anteil der Oberflächenenergie hingegen stark beeinflusst ^[17, 19]. Hieraus resultieren größenabhängigen Eigenschaften: So wechseln beispielsweise Stoffe beim Übergang vom makroskopischen Körper zum nanoskaligen Teilchen ihre Farbe ^[20], werden transparent ^[21], härter ^[22], superparamagnetisch ^[23] und steigern ihre katalytische Aktivität ^[24], Nichtleiter werden leitfähig, Metalle werden zu Halbleitern ^[8].

Ein Beispiel für die Steigerung der katalytischen Aktivität im Zusammenhang mit der Partikelgröße soll nun in der vorliegenden Unterrichteinheit anhand von Titandioxid-Nanopartikeln untersucht werden.

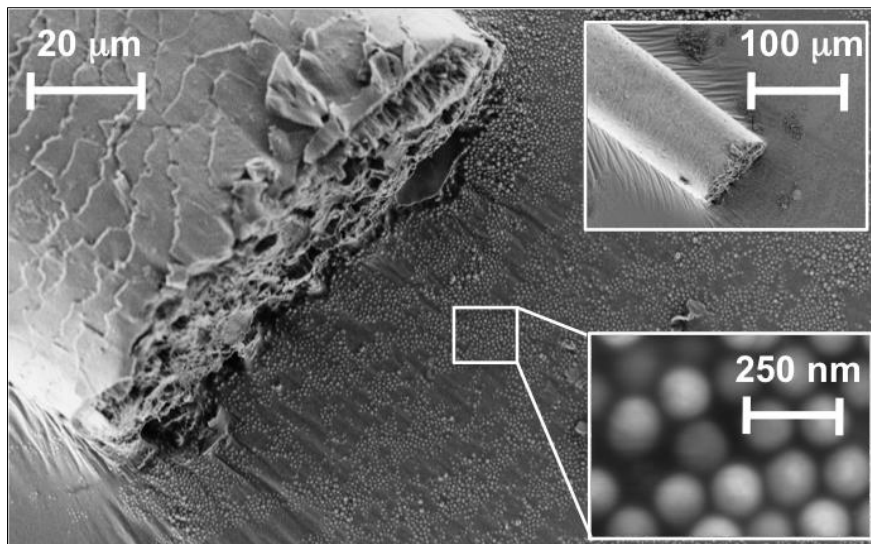
Dieser Text soll nur einen kurzen Überblick liefern und erhebt natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Weitere Informationen werden in der fachdidaktischen Literatur ^[7, 25] beschrieben und sind auch im Internet ^[26] zu finden.

Arbeitsblatt (Lösung)

Aufgabe 1: Versuchen Sie, die nanoskalige Dimension auf der Achse in ein Verhältnis zu den unten abgebildeten „bekannten Größen“ zu setzen.



Für das unten abgebildete Experiment wurden Nanopartikel mit einer Partikelgröße von 125 nm synthetisiert und mit einem menschlichen Haar verglichen.



A-Abb. 37 – Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Silica-Nanopartikeln und einem menschlichen Haar.

Aufgabe 2: „Wie viele Nanopartikel muss man nebeneinanderlegen, um den Durchmesser eines Haares zu erhalten?“

Hilfe: $1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1.000 \text{ mm} = 1.000.000 \mu\text{m} = 1.000.000.000 \text{ nm}$

$$8 \text{ Partikel} \cong 1000 \text{ nm} \cong 1 \mu\text{m}$$

$$\text{Haar} \cong 100 \mu\text{m} \cong 800 \text{ Partikel}$$

Kleine Würfel – große Oberflächen: ein Modellexperiment (Lösung)

Die besonderen Eigenschaften vieler Nanomaterialien beruhen darauf, dass die sie bildenden Teilchen über ein größeres Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis verfügen als nicht-nanoskalige Materialien. Durch diese vergrößerte Oberfläche können Nanoteilchen beispielsweise besonders gut mit anderen Substanzen in ihrer Umgebung wechselwirken und werden daher etwa als Katalysatoren in großtechnischen Prozessen wie der Treibstoffherstellung eingesetzt. Um zu ermitteln, wie groß die Oberfläche eines Körpers wird, wenn man ihn in nanoskalige Teilchen zerkleinert, betrachten wir im Folgenden ein Modellexperiment. Ziel dieses Experiments ist es, mathematisch zu beschreiben, wie sich die Oberfläche eines Würfels durch vielfache Teilung verändert.



Vorgehen: Teilen wir einen Würfel mit einer Kantenlänge von $a = 1 \text{ cm}$ in gleich große Teile, so erhalten wir acht neue Würfel, deren Kantenlänge halb so groß ist, wie die des ursprünglichen Würfels. Die sich durch diese Teilung ergebenden Würfel werden folgend ebenfalls geteilt, und zwar so häufig, bis die resultierenden Würfel nanoskalige Kantenlängen erreichen.

Aufgabe 3: Berechnen Sie die Oberfläche A aller durch die Teilungen erzeugte Würfel; ergänzen Sie dazu die folgende Tabelle.

Teilungen	Anzahl der Würfel	Kantenlänge a [cm]	Oberfläche A
0	1	1	6 cm^2
1	8	$1/2$	12 cm^2
2	64	$1/4$	24 cm^2
3	512	$1/8$	48 cm^2
4	4.096	$1/16$	96 cm^2
5	32.768	$1/32$	192 cm^2
n	8^n	$a/2^n$	$8^n \cdot 6 \cdot (a/2^n)^2$



Schülerskript mit Musterlösungen

Nanomaterialien im Alltag - Experimente mit TiO₂

1 Titandioxid Nanopartikel aus Sonnencreme

In diesem Versuch soll der mineralische UV-Filter Titandioxid aus Sonnencreme isoliert werden. Die Partikel werden heutzutage vorwiegend in Nanometergröße in der Creme verarbeitet. Der Hersteller der verwendeten Sonnencreme gab auf Anfrage an, dass die Partikel in die Größendimension von unter 100 nm fallen.

Chemikalien: TiO₂ haltige Sonnencreme mit rein mineralischen Filtern und hohem Lichtschutzfaktor.

Geräte: Porzellantiegel, Tondreieck, Dreifuß, Tiegelzange, Gasbrenner.



Arbeiten Sie unter dem ABZUG.

Das erhaltene Produkt wird für die weiteren Versuche benötigt.

Versuchsdurchführung:

*Etwa 6 g Sonnencreme werden über Nacht in einem Porzellantiegel bei 120 °C in einem Trockenschrank getrocknet. (bereits vorbereitet). Die getrocknete Sonnencreme wird so lange kräftig **von oben** mit einem Bunsenbrenner erhitzt, bis ein Pulver übrigbleibt.*

Beobachtung:

Die Sonnencreme verbrennt unter Rauchentwicklung. Nach einiger Zeit wird zunächst ein schwarzes Pulver erhalten, welches bei weiterem Erhitzen gräulich-weiß wird.

Deutung:

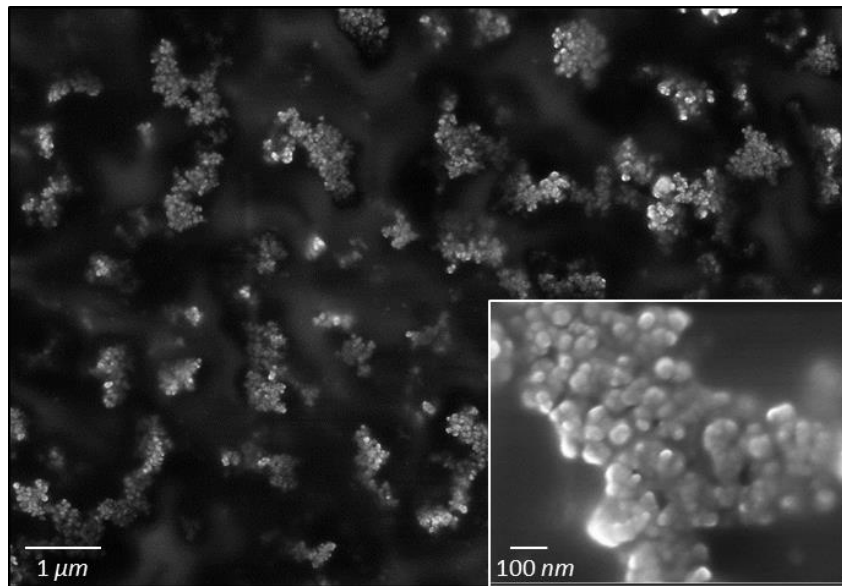
Bei der Kalzinierung verbrennen die organischen Bestandteile der Sonnencreme, es wird eine Mischung aus Titandioxid-Nanopartikeln (weiß) und Asche (schwarz) erhalten.

Aufgabe 1: Geben Sie an, welche Stoffe (zusätzlich zum weißen Pulver) höchstwahrscheinlich bei der Verbrennung entstehen. Entwerfen und erläutern Sie einen experimentellen Aufbau (Skizze), um diese nachzuweisen.

Es entstehen neben der Asche bei der Verbrennung von organischen Substanzen zu großen Teilen Kohlenstoffdioxid und Wasser. Ersteres kann nachgewiesen werden, indem die Gase in Kalkwasser geleitet werden, letzteres kann mit wasserfreiem Kupfersulfat identifiziert werden.

Aufgabe 2: Statement des Herstellers

Eine Probe der nach dieser Vorschrift gewonnenen Partikel wurden mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops visualisiert und auf ihre Größe untersucht (siehe Abbildung). Im Schnitt beträgt der Partikeldurchmesser 29 nm, und es handelt sich folglich um Nanopartikel.



A-Abb. 38 – Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Titandioxid-Nanopartikel.

Auf die Frage hin, in welcher Größe die Titandioxidpartikel in der hier in Versuch 1 verwendeten Sonnencreme eingearbeitet sind, antwortete der Hersteller Folgendes:

Die Definition der Nanopartikel leitet sich aus der internationalen Norm ISO TS 27687 ab. Gemäß dieser Definition handelt es sich dann um Nanopartikel, wenn die Kristallgröße der Primärpartikel in allen drei räumlichen Dimensionen im Größenbereich zwischen 1 - 100 Nanometer liegt.

Somit ist im Markt zum derzeitigen Zeitpunkt kein Titandioxid verfügbar, welches nicht unter diese Definition fällt.

Unabhängig davon liegen in den kosmetischen Fertigerzeugnissen die Teilchen auch nicht mehr komplett als Primärpartikel vor, sondern bilden so genannte Agglomerate. Dabei handelt es sich um Zusammenballungen von Teilchen, die in der Regel größer als die für Nanopartikel geltenden 100 Nanometer sind. Trotz dieser größeren Agglomerate in Fertigerzeugnis handelt es sich nach Definition des Gesetzgebers trotzdem um Nanopartikel.

Mit den herkömmlichen Partikelgrößenmessungen werden die drei räumlichen Dimensionen der Primärpartikel nicht hinreichend erfasst. Außerdem ist das Ergebnis der Partikelgrößenmessung abhängig von der verwendeten Methodik. Da es hierzu keine einheitliche und allgemein anerkannte Testmethode gibt.

Zu Titandioxid liegen umfangreiche Daten vor, die deren sichere Anwendung in kosmetischen Mitteln belegen. Insbesondere die Sicherheit von Titandioxid als Lichtschutzfilter wurde bereits im Jahre 2000 in einer detaillierten Stellungnahme des wissenschaftlichen Beratergremiums der Europäischen Kommission bestätigt. Im Rahmen dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die Teilchen nicht in die Haut eindringen. Dies konnte für Titandioxid durch aktuelle Studien aus den Jahren 2006 und 2007 nochmals untermauert werden. Die neusten Studien von Prof. Tilmann Butz von der Universität

Leipzig haben im Rahmen des staatlich geförderten Nanoderm-Projektes ebenfalls nochmals bewiesen, dass Titandioxid nicht in die intakte Haut eindringt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass auf Basis der vielen vorliegenden wissenschaftlichen Studien der Gebrauch von Titandioxid in Sonnenschutzmitteln sicher ist. Hinzu kommt der unbestrittene Nutzen dieses mineralischen Lichtschutzfilters zur Vermeidung vielfältiger lichtbedingter Hautschäden bis hin zum Hautkrebs. Die Sicherheit und die hervorragende Verträglichkeit des Lichtschutzfilters Titandioxid wird nicht zuletzt durch seine Unauffälligkeit in der langjährigen Marktbeobachtung dokumentiert.

Die Antwort der Firma *dm* auf die Frage, in welcher Größe die Partikel in der Sonnencreme verarbeitet sind, ist ziemlich lang geworden. Diskutieren Sie, welche Intention der Hersteller mit dieser Antwort verfolgen könnte.

Die Antwort zeigt, dass viele Verbraucher offensichtlich sehr vorsichtig oder gar ängstlich auf Technologien reagieren, die ihnen nicht bekannt sind. Indem *dm* mehrere diesbezügliche Studien und „langjährige Unauffälligkeit“ anführt, möchte die Firma die Sicherheit ihrer Produkte betonen und den Kunden die Ängste nehmen.

Weiterführende Informationen zum Thema Verbraucherängste: Die Firma Jack Wolfskin verzichtete 2010 aufgrund der anhaltenden Diskussion freiwilligen auf den Verkauf ihrer „Nano-Tex“ Produkte.



2 Nachweis von Titandioxid

In Versuch 1 wurde aus verschiedenen Produkten ein weißes Pulver gewonnen. Dieses soll im folgenden Versuch nachgewiesen werden.

Chemikalien: Weißer Pulver (aus Versuch 1), Kaliumhydrogensulfat (KHSO_4), verdünnte Schwefelsäure, Wasserstoffperoxid (H_2O_2 , $w = 3\%$).

Geräte: Magnetrührer mit Heizplatte, Rührfisch, Becherglas, Porzellantiegel, Dreifuß, Tondreieck, zwei 200 mL Bechergläser, Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Glastrichter, Faltenfilter.



Die aufsteigenden SO_3 -Dämpfe sind ätzend. Arbeiten Sie unter dem **ABZUG**.

Versuchsdurchführung: Eine Spatelspitze des Titandioxids wird mit fünf Spatelspitzen Kaliumhydrogensulfat in einem Porzellantiegel gemischt und erhitzt, bis eine klare Schmelze entstanden ist und weiße SO_3 -Nebel aufsteigen. Ist im erhaltenen Titandioxid Asche vermengt, sollten davon zwei Spatelspitzen verwendet werden. In diesem Fall entsteht eine gräuliche Schmelze. Nach Erkalten der Schmelze wird etwa dieselbe Menge verdünnte schwefelsaure Lösung hinzugegeben und anschließend kurz aufgeköcht, bis sich der sogenannte Schmelzkuchen gelöst hat. Der Tiegelinhalt wird über einen Trichter mit Faltenfilter in ein Reagenzglas filtriert. In das Filtrat wird 3%-ige Wasserstoffperoxidlösung gegeben, bis eine gelb-orange Färbung auftritt.

Beobachtung:

Beim Erhitzen mit Kaliumhydrogensulfat steigen weiße Dämpfe auf, es bildet sich eine klare Schmelze (ggf. mit etwas Asche darin). Diese löst sich schnell beim Aufkochen in Schwefelsäure. Nach dem Filtrieren färbt sich die Lösung nach Zugabe von Wasserstoffperoxid intensiv gelb bis orange.

Deutung:

Titandioxid löst sich nicht in WASSER; mit Hilfe von KALIUMHYDROGENSULFAT wird Titandioxid aber in eine wasserlösliche Verbindung überführt. Mit dem zugegebenen Wasserstoffperoxid bildet schließlich sich eine Titanverbindung, die GELB-ORANGE gefärbt ist. Diese Färbung tritt schon bei einer sehr geringen Menge von Ti^{2+} -Ionen in der Lösung auf, sodass letztere durch diese Reaktion gut nachgewiesen werden kann.

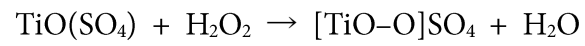
Weiterführende Erklärung:

Der Prozess der Überführung in wasserlösliches Titanlylsulfat (saurer Aufschluss) verläuft nach folgender Reaktionsgleichung:

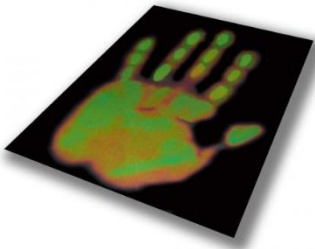




Durch Zugabe von Wasserstoffperoxid zu der schwefelsauren Titanylsulfat-Lösung bildet sich eine farbige Titanverbindung, ein sogenannter Titanperoxo-Komplex.



3 Thermochromie von Titandioxid



Einige Stoffe ändern unter Wärmeeinwirkung reversibel ihre Farbe; dieses Phänomen wird Thermochromie genannt. Eine bekannte Anwendung sind Thermolacke, die auf sog. Zaubertassen und Stimmungsringe aufgetragen werden und je nach Temperatur ihre Farbe wechseln. In diesem Experiment soll untersucht werden, ob Titandioxid thermochromes Verhalten aufweist.

Chemikalien: Weißes Pulver aus Versuch 1.

Geräte: Porzellantiegel, Tiegelzange, Bunsenbrenner.

Versuchsdurchführung: Zwei Spatelspitzen der in Versuch 1 erhaltenen Titandioxid-Nanopartikel werden in einen Porzellantiegel gegeben und vorsichtig von oben mit dem Bunsenbrenner erhitzt. Sobald eine Farbänderung zu erkennen ist, wird die Wärmezufuhr gestoppt; anschließend wird das Pulver weiterhin beobachtet.

Beobachtung:

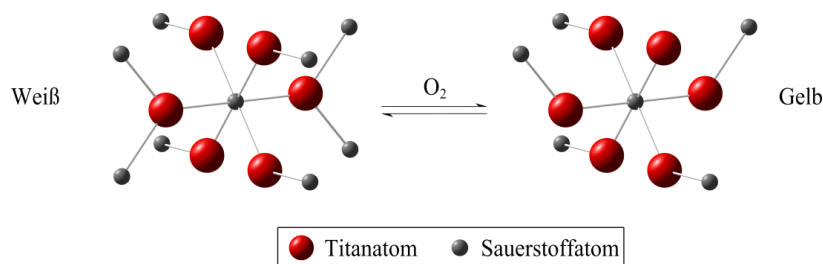
Während des Erhitzens färbt sich das weiße Pulver gelb. Nach Beendigung der Wärmezufuhr färbt es sich nach kurzer Zeit wieder weiß.

Deutung:

Das weiße Pulver zeigt eine Thermochromie.

Erklärung:

Die gelbliche Färbung des Titandioxids beim Erhitzen ist darauf zurückzuführen, dass Titandioxid ein guter Sauerstoffdonator ist. Durch die Wärmeeinwirkung wird vermehrt Sauerstoff aus dem Ionengitter abgegeben. Als Folge bleiben Fehlstellen oder sogenannte Gitterdefekte zurück, welche für die Farbänderung verantwortlich sind. Der Prozess der Aufweitung des Kristallgitters ist allerdings reversibel, sodass die Fehlstellen beim Abkühlen wieder mit Sauerstoff besetzt werden; das Pulver färbt sich beim Abkühlen an Luftsauerstoff wieder weiß.



A-Abb. 39 – Modell zur Erklärter des thermochromen Effektes bei Titandioxid.

4 Photokatalyse – Entfärbung von Methylenblau



Der Versuch benötigt einige Zeit, daher sollte er möglichst zu Beginn des Versuchstages durchgeführt werden.

Der Halbleiter Titandioxid dient in vielen Anwendungen als Photokatalysator; er ist in der Lage, organische Verbindungen, wie den Farbstoff Methylenblau, unter Einwirkung von UV-Licht abzubauen. Das Verfahren findet bereits in selbstreinigenden Fassaden und zur Aufreinigung von Luftverschmutzungen Anwendung. Die Abbildung zeigt bspw. ein Krankenhaus in Mexico City mit einer solchen photokatalytisch aktiven, luftreinigenden Fassade. Auch Abwässer können auf diese Weise gereinigt werden, unter anderem von Medikamentenresten wie der Anti-Baby-Pille.



A-Abb. 40 - Luftreinigende Fassade eines Krankenhauses in Mexico City.

Chemikalien: Titandioxid-Nanopartikel (aus Versuch 1), Methylenblau, demineralisiertes Wasser.

Geräte: UV-Lampe (z. B. Osram Ultravitalux), Stativmaterial, 2 Bechergläser (50 mL), Erlenmeyerkolben (100 mL)



Versuchsdurchführung: Zur Herstellung einer wässrigen Methylenblau-Lösung werden 5 Tropfen Methylenblau ($c = 0,05 \text{ mol/L}$) in 100 mL Wasser gegeben und vermengt. Anschließend werden 50 mL der Methylenblaulösung bzw. der anderen Lösungen mit 0,5 g Titandioxid versetzt. Die Lösung wird eine Stunde mit UV-Licht bestrahlt, die mit TiO_2 versetzte Lösung muss nach der Bestrahlung sedimentiert werden.

→ Achtung: Weniger Methylenblau ist hier mehr – ansonsten verzögert sich die Entfärbung.

Beobachtung:

Nach einigen Minuten entfärbt sich die blaue Lösung.

Deutung:

Unter UV-Licht erzeugt der Photokatalysator (Titandioxid-Nanopartikel) Radikale. Diese zerstören im weiteren Verlauf der Reaktion den organischen Farbstoff Methylenblau, wodurch sich die Lösung entfärbt. Wenn die Bestrahlung mit UV-Licht lang genug fortgesetzt wird, entfärbt sich die Lösung vollständig.



5 Antibakterieller Effekt von nanoskaligem Titandioxid

In diesem Experiment soll die antibakterielle Wirkung von Titandioxid-Nanopartikeln veranschaulicht werden. Als Beispiel dafür wird die Milchsäuregärung bei Joghurt betrachtet – in deren Verlauf wird Milchzucker von Bakterien in Milchsäure umgewandelt. Durch die pH-Wertabsenkung wird letztendlich die typische Konsistenz von Joghurt erhalten.

Chemikalien: Titandioxid-Nanopartikel (aus Versuch 1), Vollmilch (pasteurisiert), Naturjoghurt (nicht wärmebehandelt).

Geräte: UV-Lampe (z. B. Osram Ultravitalux), 4 Bechergläser (25 mL), Rundkolben (250 mL), Wasserbad, Magnetrührer, Heizplatte, Rührfisch, Spatel, Feinwaage, Pipette.

Versuchsdurchführung: 100 mL Vollmilch werden in einem Rundkolben unter Rühren und mit Hilfe eines Wasserbades auf 40°C erhitzt. Anschließend wird 15 g Naturjoghurt hinzugegeben und einige Zeit gerührt. Für den Versuch werden 4 Bechergläser benötigt. In Bechergläser 1 und 2 werden 0,8 g des Pulvers aus Versuch 1 gegeben. Mit der Pipette werden anschließend jeweils 4 mL der Milch (mit Joghurt) in alle vier Bechergläser gefüllt. Bechergläser 1 und 3 (eines mit dem Pulver aus V1 und eines ohne) werden beiseite gestellt, Bechergläser 2 und 4 werden für eine Stunde mit UV-Licht bestrahlt.

Anschließend werden die Proben mit dem weißen Pulver sedimentiert, um sie von letzterem zu trennen. Zum Schluss werden alle Proben luftdicht abgeschlossen und für 14 Tage an eine unbelichtete Stelle gestellt.

Beobachtung:

Becherglas 1: Es liegt eine dickflüssige Substanz ohne Schimmel vor.

Becherglas 2: Die Substanz ist unverändert dünnflüssig und zeigt keinen Schimmel.

Becherglas 3: Es liegt eine dickflüssige Substanz vor, Schimmel ist zu sehen.

Becherglas 4: Es liegt eine dickflüssige Substanz vor, Schimmel ist zu sehen.

Deutung:

Wie bei dem vorherigen Versuch erzeugt der Photokatalysator (Titandioxid-Nanopartikel) Radikale. Diese schädigen die zugeführten Joghurtkulturen und andere Mikroorganismen, sodass in Becherglas (BG) 2 weder Joghurt noch Schimmel entsteht.

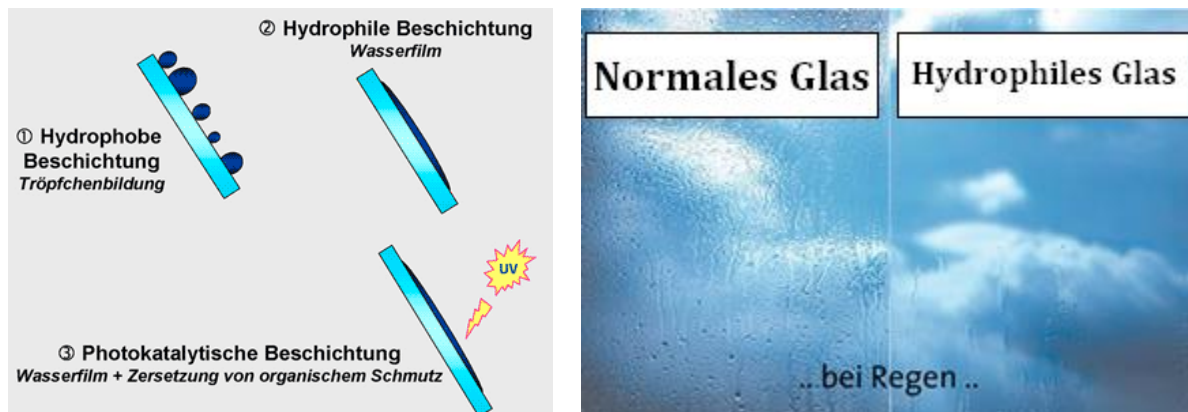
Da in BG 1 kein Schimmel entsteht, wird festgehalten, dass Titandioxid-Nanopartikel zudem auch ohne Einwirkung von UV-Licht geringfügig schädlich für Mikroorganismen sind.

In BG 3 und 4 nehmen die Mikroorganismen keinen Schaden, sodass dort zunächst Joghurt und im weiteren Verlauf Schimmel entsteht.



6 Herstellung einer hydrophilen Titandioxid-Nanoschicht

Nanomaterialien weisen interessante Eigenschaften auf, wie etwa photokatalytische oder antimikrobielle Aktivität; eine Herausforderung ist es allerdings, diese Eigenschaften auf konventionelle Gegenstände und Materialien zu übertragen. In vielen Fällen wird dieses Problem durch eine Oberflächenbehandlung gelöst – eine nur mehrere Nanometer dünne Schicht genügt meist, um dem gewünschten Werkstoff die Eigenschaften des Nanomaterials zu verleihen. Im folgenden Versuch soll Glas betrachtet werden. Aufgrund der Tröpfchenbildung von Wasser sind (Windschutz-)Scheiben bei Regen nur schwer zu durchblicken. Durch die Beschichtung mit einem passenden Material wird Wasser entweder abgestoßen und bildet leicht abfließende Tröpfchen (hydrophobe Beschichtung, „Lotus-Effekt“) oder stärker angezogen, sodass es einen transparenten, gleichmäßigen Film bildet (hydrophile Beschichtung). Zudem wird organischer Schmutz, wie etwa Fingerabdrücke, mit Hilfe von Sonnenlicht zersetzt; dieser Prozess wird als **Photokatalyse** bezeichnet und die dazu in der Lage befindlichen Gläser als selbstreinigend oder „easy-to-clean“.⁹



Chemikalien: Ethanol, Titan(IV)-tetrakispropoxid (TTIP), konzentrierte Salzsäure. **Optional:** Methylenblau.

Geräte: Objektträger, Glasstab, Tesafilm, Becherglas (50 mL), Rührfisch, Ofen, Sprühflasche, Pasteurpipette. **Optional:** UV-Lampe.

Achtung, konzentrierte Salzsäure ist stark ätzend!



Versuchsdurchführung: Für die benötigte TTIP-Lösung werden in einem 50 mL Becherglas 25 mL Ethanol mit 1,8 mL konzentrierter Salzsäure versetzt. Anschließend werden 5 mL Titan(IV)-tetrakispropoxid zugegeben. Die Lösung wird etwa fünf Minuten lang gerührt.

⁹ Quelle: Dr. Nikolas Janke (2004), Saint Gobain Glass Deutschland

Zunächst wird die zu beschichtende Glasoberflächen mit Ethanol gereinigt, anschließend wird die linke Hälfte zum späteren Vergleich mit Tesafilm abgeklebt. Mit einer Pasteurpipette werden vorsichtig einige Tropfen der TTIP-Lösung auf die rechte Hälfte des Tesafilmstreifens gegeben, danach wird die Flüssigkeit vorsichtig mit einem Glasstab nach rechts auf die unbedeckte Seite abgezogen und so gleichmäßig auf dessen Oberfläche verteilt.

Die Glasplatte wird etwa 10 Sekunden mit einem Fön getrocknet.

Folgende Experimente werden nun durchgeführt und die Beobachtungen notiert bzw. fotografisch festgehalten:

- a. Die Glasplatte wird schräg positioniert. Danach wird Wasser auf die Fliese gesprüht.
- b. Die Glasplatte wird vorsichtig an den Kanten senkrecht festgehalten und mit Wasser aus der Sprühflasche besprüht.
- c. Optional: Die Glasplatte wird für einen Tag in einen Schuhkarton gelegt, sodass sie komplett abgedunkelt ist. Zu Beginn des Versuchs wird die Platte auf ein Kästchenpapier gelegt. Eine mögliche Ausbreitung der Tropfen ist dadurch leichter abzulesen. Auf jede der beiden Seiten werden zwei Tropfen Methylenblau und ein Tropfen Wasser gegeben. Danach wird die Fliese für eine halbe Stunde mit UV-Licht beleuchtet. Die Form und Ausbreitung wird fotografisch vor und nach der Beleuchtung mit UV-Licht festgehalten.

Beobachtung:

Die mit TTIP-Lösung behandelte Seite des Objektträgers bleibt klar, ein dünner Wasserfilm ist zu erkennen. Auf der unbedenkten Seite hingegen bilden sich Wassertropfen, sodass schlecht hindurchgeschaut werden kann.

Deutung:

Auf der mit TTIP behandelten Seite bildet sich eine nanometerdünne Titandioxid-Schicht. Diese ist – ebenso wie Wasser – hydrophil, sodass sich beim Besprühen ein dünner Wasserfilm bildet. Es handelt sich folglich um eine hydrophile Beschichtung.



A3.21 Materialien zur Lehrerfortbildung: Nanochemie und Katalyse – eine Unterrichtseinheit im eA-Kurs Chemie

Begleitende PowerPoint-Präsentation zur Fortbildung

Nanochemie und Katalyse
– eine Unterrichtseinheit im eA-Kurs Chemie

Timm WILKE ^a | Erhard IRMER ^b
^a Georg-August-Universität Göttingen, ^b Otto-Hahn-Gymnasium Göttingen
08. Oktober 2015

Ablauf

- 1 Nano im Regelunterricht der Sek II
- 2 Die Unterrichtseinheit "Nanochemie und Katalyse"
- 3 Experimente an ausgewählten Stationen
- 4 Diskussion

3 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Nano im Regelunterricht der Sek II Anschlüsse an das Kerncurriculum

Erkenntnisgewinnung:
...nutzen die Modellvorstellung des Übergangszustands zur Beschreibung der **Katalysatorwirkung**.

Bewertung:
...beurteilen den Einsatz von **Katalysatoren** in technischen Prozessen.

Basiskonzepte:

- Stoff-Teilchen
- Struktur-Eigenschaft
- Chemische Reaktion

Kommunikation:
...diskutieren die Möglichkeiten der Anwendung von **Katalysatoren**.

Bewertung:
...erkennen und beschreiben die gesellschaftliche Relevanz und Bedeutung von Stoffen in ihrer Lebenswelt.

... aber wo denn nun konkret?

5 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Nano – ein Thema für den Chemieunterricht!

Einsatz:

- im EW-Kurs,
- im WPU-Kurs

im Regelunterricht der Sek II??

Nano ist überall! Nano ist nicht unumstritten! Nano bietet ein vielversprechendes Berufsfeld!

2 | 08.10.2015 | MNU-Tag Göttingen 2015

Nano im Regelunterricht der Sek II Einordnung der Nanochemie in die Fachwissenschaft Chemie

AC ? Prof. Bruno Chaudret (Toulouse); Organometallic Nanoparticles – Surface Chemistry, Magnetic Heating and Catalysis

OC ? Prof. Stephen Kent (Chicago) Bringing the Science of Proteins into the Realm of Organic Chemistry

PC ? Prof. Susumu Kitagawa (Kyoto), Porous Coordination Polymers Make an Epoch in Gas Substances

Physik ? Prof. Stefan W. Hell (Göttingen), Far-field Optical Nanoscopy; Principles and Recent Advancements

Prof. Ferdi Schüth (Mülheim), Controlled Nanostructures for Application in Catalysis

Plenarvorträge auf dem GDCh-Wissenschaftsforum 2015 in Dresden

4 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016

Nano im Regelunterricht der Sek II Schulcurriculum des OHG

1. Sem. • **Vom Kraftstoff zum Kunststoff**
• Organische Chemie I und Thermodynamik

2. Sem. • **Chemische Reaktionen effektiv nutzen**
• Kinetik und Gleichgewichtsreaktionen / Säure-Base I

3. Sem. • **Gleichgewichtsreaktionen in der Anwendung**
• Säure/Base- und Redoxreaktionen

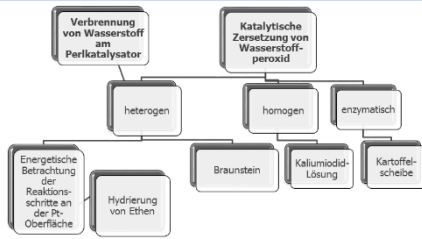
4. Sem. • **Naturstoffe**

6 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016

6 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Nano im Regelunterricht der Sek II
Katalyse-Einheit im 2. Semester



2 Doppelstunden

7 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Unterrichtseinheit "Nanochemie und Katalyse"
Lerngruppe

- Lerngruppe:
 - Klassenstufe 11 / 1. Jahr Kursstufe (17 Schüler und 2 Schülerinnen)
 - Prüfungskurs auf erhöhtem Anforderungsniveau 4-stündig



8 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Unterrichtseinheit "Nanochemie und Katalyse"
Skizzierung der Unterrichtseinheit

1. Doppelstunde

- Einstieg über ein bekanntes Experiment: katalytische Zersetzung von Wasserstoffperoxid durch Braunstein
- **Problemexperiment:** Gleiches Experiment mit Braunstein in nanoporösem Silica-Träger liefert schnellere Zersetzung
- SuS arbeiten als Ursache die größere Oberfläche heraus – ein Charakteristikum von Nanomaterialien.
- Anschließend: Einführungsvortrag in "Nano" mit Arbeitsblättern und Aufgaben zu weiteren, elementaren Aspekten (*Alltagsanwendungen*, Betrachtung der Größendimension, Modellexperimente, Herstellung, ...)



9 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Unterrichtseinheit "Nanochemie und Katalyse"
Skizzierung der Unterrichtseinheit

2. Doppelstunde

- These: Nanomaterialien besitzen auch neue oder andere Eigenschaften als makroskopisch große Materialien
 - **Schüler-Demonstrationsexperiment:** Synthese von Zinkoxid-Nanopartikeln (Fällungsreaktion).
 - **Schülerexperiment:** Synthese im Leidenfrost-Reaktor. Untersuchung des Partikelwachstums anhand der erscheinenden und erlöschenden Fluoreszenz.
- Deutung: Fluoreszenz ist abhängig von der Partikelgröße
- **Schülerexperiment:** Verfolgung der Diffusion durch Pflanzenmembranen (Zwiebel) anhand der Fluoreszenz



10 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Unterrichtseinheit "Nanochemie und Katalyse"
Skizzierung der Unterrichtseinheit

3. Doppelstunde

- Untersuchung der Eigenschaften von Zinkoxid-Nanopartikeln
- **Schülerexperiment:** Photokatalytische Entfärbung eines Farbstoffes (problemorientiert am Beispiel von Bisphenol A).
- Auswertung: SuS erarbeiten die notwendigen Bedingungen für eine Photokatalyse und die Deutung der Reaktion auf phänomenologischer oder Teilchenebene mithilfe von Arbeitsblättern.
- Rückbezug auf den Umweltkontext Bisphenol A



Deutung: Radikale zerstören den Farbstoff.

11 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Unterrichtseinheit "Nanochemie und Katalyse"
Skizzierung der Unterrichtseinheit

4. Doppelstunde

- Gruppenarbeit: Einsatz von Nanomaterialien in unterschiedlichen Bereichen (Kosmetik, Nahrungsmittel, Hygiene, Industrie, ...)
- Aufgaben: 1) Anfertigung eines Handouts; 2) Präsentation der Kontroverse zum Einsatz des Nanomaterials.
- Fokus: Kommunikations- und Bewertungskompetenz
- Abschluss / Ergebnissicherung: moderierte Expertendiskussion



Nanopartikel bieten große Möglichkeiten, bergen aber auch Risiken

12 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Experimente an ausgewählten Stationen
Experimentierstationen

<p>Station 1</p> <p>Synthese von Braunstein/Silica Vergleich der katalytischen Zersetzung von Wasserstoffperoxid</p>	<p>Station 2</p> <p>Synthese von Zinkoxid-Nanopartikeln im Leidenfrost-Reaktor (Heizplatte)</p>
<p>Station 3</p> <p>Diffusion von Zinkoxid-Nanopartikeln durch Pflanzenmembranen</p>	<p>Station 4</p> <p>Photokatalytische Zersetzung eines Farbstoffes mit Zinkoxid-Nanopartikeln</p>

Die Reihenfolge der Stationen ist frei wählbar! Viel Spaß ☺

13 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Diskussion
Evaluation und Feedback

Was hat dir an der Unterrichtseinheit ...

... gut gefallen?
 - gute Veranschaulichung
 - gute Experimente
 - gut strukturiert

... nicht so gut gefallen?
 - viele Experimente
 - gute Erklärungen

... gut gefallen?
 - viele Experimente
 - die vielen Versuche
 - Bezug zur Realität

... gut gefallen?
 - viele Versuche
 - verständliche Erklärungen
 - viel Neues gelernt
 - kein Rechnen

... gut gefallen?
 - viele Versuche

... gut gefallen?
 - viele Experimente

... gut gefallen?
 - viele Experimente

14 | 31.08.2016 | MNU-Tag Göttingen 2016



Diskussion

Evaluation und Feedback

2. Nenne verschiedene Nanomaterialien und/oder verschiedene Bereiche, in denen diese Nanomaterialien eingesetzt werden. Beschreibe nach Möglichkeit ihre Funktion.
SiO₂, ZnO, TiO₂, ... z.B. werden sie in der Industrie bei Autoscheiben, bei Wasserenthärtung z.B. Katalysator, bei besseren Filtereigenschaften oder in Sonnencreme zur besseren UV-Licht-Reflexion eingesetzt

3. a) Beschreibe möglichst genau, welchen Größenbereich die Nanodimension umfasst.
Je nach Definition zwischen 1-100 oder 1-500 Nanometer

b) Ordne die folgenden Objekte der Größe nach an, beginnend bei den Kleinsten: Elektron, Nanopartikel, Haier, Rosinensuppe.
Elektron < Haier < Nanopartikel < Haier < Rosinensuppe

4. Beurteile den zunehmenden Einsatz von Nanotechnologie und Nanomaterialien.
Die Eigenschaften von Nanopartikeln sind ich gut nutzbar aber auch kritisch da die Gefahr nach sich zieht unklar sind. Ich würde erstmal mehr bis alles untersucht ist bevor ich diese Produkte groß nutzen würde





Sämtliche Unterrichtsmaterialien gerne per Email!
 twilke2@gwdg.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

A3.22 Lehrerfortbildung: Nanotechnologie in der Schule: Innovative Ansätze für den Chemieunterricht

Begleitende PowerPoint-Präsentation zur Fortbildung



Überblick

- 1 Einführung
- 2 „Nano“ im Chemieunterricht?
- 3 Experimente in den KiFo-Laboren
- 4 Diskussion und Feedback

2 | 30.08.2014 | GDCh Fachgruppentagung Chemieunterricht, Kiel 2014

Ziele des Workshops

- 1 Eigenschaften von Nanomaterialien
- 2 Nanomaterialien im Alltag
- 3 Herstellung von Nanomaterialien
- 4 Größendimension "Nano"

3 | 30.08.2014 | GDCh Fachgruppentagung Chemieunterricht, Kiel 2014

Vielfalt an Themen-Laboren: Aus der Forschung in die KiFo!

<http://www.forschungs-werkstatt.de/>

	☞ Worum geht's, was interessiert mich?
	☞ Klein, kleiner, unsichtbar ...?
	☞ Eigenschaften verändern – auf Knopfdruck!
	☞ Die Geheimnisse der Meere
	☞ Energie gestern, heute, morgen?
	☞ Eine Reise um die Welt!

4 | GDCh Fachgruppentagung Chemieunterricht, Kiel 2014

Wissenschaft selbst erleben – kieler forschungs:werkstatt



Organisatorisches



• Räumlichkeiten und Aufteilung



• Toiletten

5 | GDCh Fachgruppentagung Chemieunterricht, Kiel 2014



Organisatorisches

• Wo ist was?

-  • Einführung & Kaffee
-  • Kontaktwinkel., Seifenblasen, AFM
-  • Alles sauber und frisch dank nano
-  • Von der Sonnencreme zur Solarz.

9 | 30.08.2014 | GDCh Fachgruppenstag Chemieunterricht, Kiel 2014

Nano – Ein Thema für den Chemieunterricht?

9 | 30.08.2014 | GDCh Fachgruppenstag Chemieunterricht, Kiel 2014

Schülerbefragung zum Thema „Nano“

Schülerperspektiven zum Thema „Nano“

• Papierfragebogen, N = 268, Klassen: 7, 9, 11, 12eA/LK (Gymnasien Norddeutschland, Mittelhessen)

Fragestellungen

- 1) Was stellen sich SuS unter dem Begriff „Nano“ vor?
- 2) Welche Anwendungen verbinden SuS mit dem Begriff „Nano“?
- 3) Wie bewerten SuS den Einfluss von Nanotechnologie auf ihr Leben?
- 4) Wie schätzen SuS ihre eigenen Kenntnisse ein?
- 5) „Nano“ in der Schule?



9 | 30.08.2014 | GDCh Fachgruppenstag Chemieunterricht, Kiel 2014

Ausgewählte Ergebnisse

Vorstellungen und Konzepte	Ergebnisse / Fazit	Schüleräußerungen
	<ul style="list-style-type: none"> • Probleme beim Einschätzen der Größenordnung • Fehlvorstellungen 	<ul style="list-style-type: none"> ... etwas sehr kleines ... kleinste Teilchen... kleiner als Atome ... eine Art Strom oder Licht
Vorkommen und Anwendungen	<ul style="list-style-type: none"> • Starker Einfluss durch Werbung • Produkte mit „Nano“ • Bezüge zur Physik, Technik 	<ul style="list-style-type: none"> ... iPod nano... vielleicht noch was bei Microchips ... Blätter haben Nanostrukturen
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> • Zu wenig Wissen • Tendenz positive Assoziationen 	<ul style="list-style-type: none"> ... bin mir nicht sicher, da ich über negativen Einfluss keine Kenntnisse habe ... gut da alles moderner ist
Eigene Kenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> • „keine/ wenige“ (95 %) • „einige/ viele“ (5 %) 	<p>Nano im Chemieunterricht?</p> <ul style="list-style-type: none"> • „ja“ (87 %) • „nein“ (13 %)

10 | 30.08.2014 | GDCh Fachgruppenstag Chemieunterricht, Kiel 2014

Lehrerbefragung zum Thema „Nano“ (2012-2013)

Lehrerperspektiven zum Thema „Nano“

• Papierfragebogen (N = 40)

Fragestellungen

- 1) Rolle von „Nano“ im eigenen Unterricht?
- 2) Nutzung von Bildungsangeboten?
- 3) Interesse an Fortbildungen?
- 4) Potentielle Barrieren?



11 | 30.08.2014 | GDCh Fachgruppenstag Chemieunterricht, Kiel 2014

Lehrerbefragung zum Thema „Nano“ – Ergebnisse (2012- 2013)

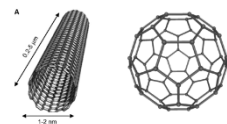
Rolle im eigenen Unterricht	Nutzung von Bildungsangeboten
<ul style="list-style-type: none"> • Nano sollte eine größere Rolle spielen (28/40) • Bereits Unterrichtsstunde gehalten (1/40) <ul style="list-style-type: none"> – Bezüge hergestellt (11/40) 	<ul style="list-style-type: none"> • Häufige Nennung von Bildungsangeboten • Bildungsangebote genutzt (0/40)
Interesse an Fortbildungen	Potentielle Barrieren
<ul style="list-style-type: none"> • Hohes Interesse an Fortbildungen (26/40) • Themen: Grundlagen der Nanotechnologie, Beschichtungen, Medizin, Nano und Energie 	<ul style="list-style-type: none"> • Intrinsisch <ul style="list-style-type: none"> – Fehlende eigene Kenntnisse – Kein KC Bezug • Extrinsisch <ul style="list-style-type: none"> – Zeitmangel, Schulausstattung, fehlendes Unterrichtsmaterial

12 | 30. August 2014 | GDCh Fachgruppenstag Chemieunterricht, Kiel 2014

Schulbuchanalyse „Nano“ (2012-2013)

Chemie (12 Schulbücher)

- Thema Nano wird selten aufgegriffen
 - CNT, C60
- Experimente zum Thema Nano
 - 1 Experiment



Physik, Biologie (11 Schulbücher)

- Keine Bezüge

„Nano“ eine vernachlässigte Dimension im Chemieunterricht!

13 | 30.08.2014 | GDCh Fachgruppenstag Chemieunterricht, Kiel 2014

Erschließen der Nanodimension

Was ist Nanotechnologie?

Normalerweise bestimmen sich Technologien durch ihren Anwendungsbezug. Die Luftfahrttechnologie beispielsweise beschäftigt sich mit der Entwicklung und Verbesserung von Flugzeugen.

Die Nanotechnologie jedoch grenzt sich nicht durch ihren Anwendungsbezug von anderen Technologien ab.

Vielmehr bestimmt sich die Nanotechnologie zunächst nur durch die Größe der Materialien, die untersucht werden. Ganz allgemein sind diese kleiner als 100 Nanometer bis hin

14 | 30.08.2014 | GDCh Fachgruppenstag Chemieunterricht, Kiel 2014

Erschließen der Nanodimension

Beispielaufgaben

Vergleich der Größe von Nanopartikeln mit dem menschlichem Haar

- *Wie viele Nanopartikel muss man nebeneinander legen, um den Durchmesser eines Haares zu erhalten?*

8 Partikel \triangleq 1000 nm \triangleq 1 μ m
 1 Haar \triangleq 100 μ m
 \triangleq 800 Partikel

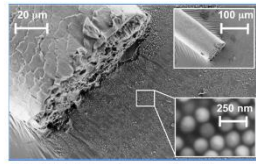


Abb: REM-Aufnahme eines menschlichen Haares und mehrerer Stöberpartikel

Evaluation nach 4-6 Wochen (71 SuS, Klasse 11)
 • 8/10 SuS nutzen Erklärungsbeispiel

Beispielaufgaben: Oberfläche von Nanomaterialien

Warum sind Materialien in nanoskaliger Größe besonders reaktiv?

Ein Würfel der Kantenlänge $a = 1$ cm wird so lange in kleinere, gleichartige Würfel geteilt bis die Kantenlänge bei < 1 nm liegt. *Wie groß ist die resultierende Gesamtoberfläche?*



• Hilfestellungen

Teilungen	Anzahl der Würfel	Kantenlänge a (cm)	Oberfläche A
0	1	1	6 cm ²
1	8	$\frac{1}{2}$	12 cm ²
2	64	$\frac{1}{4}$	24 cm ²
n	8^n	$\frac{1}{2^n}$	$6 \cdot 6 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2$



Beispielaufgaben: Oberfläche von Nanomaterialien

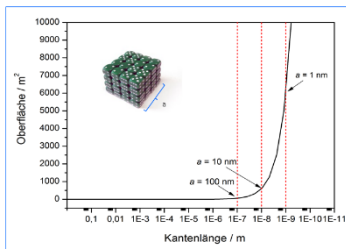


Abb: Abhängigkeit der Oberfläche zur Kantenlänge eines Würfels

- Darstellung der Funktion mit Tabellenkalkulationsprogramm
- Verknüpfungen: Katalyse, Reaktivität, Adsorption

A4 Copyright-Agreements der Verlage

A4.1 Nanoscience Education in School Chemistry: Perspectives for Curricular Innovations in Context of an Education for a Sustainable Development

Betreff: Thank you for your RightsLink / Springer transaction
Von: Copyright Clearance Center <rightslink@marketing.copyright.com>
Datum: 31.08.2016 15:44
An: <twilke2@gwdg.de>

To view this email as a web page, go [here](#).

Do Not Reply Directly to This Email

To ensure that you continue to receive our emails,
please add rightslink@marketing.copyright.com to your [address book](#).

RightsLink



Thank You For Your Order!

Dear Mr. Timm Wilke,

Thank you for placing your order through Copyright Clearance Center's RightsLink service. Springer has partnered with RightsLink to license its content. This notice is a confirmation that your order was successful.

Your order details and publisher terms and conditions are available by clicking the link below:

<http://s100.copyright.com/CustomerAdmin/PLF.jsp?ref=9d267163-e089-4bc5-903d-304ab91eac20>

Order Details

Licensee: Timm Wilke

License Date: Aug 31, 2016

License Number: 3939370693688

Publication: Springer eBook

Title: Nanoscience Education in School Chemistry: Perspectives for Curricular Innovations in Context of an Education for a Sustainable Development

Type Of Use: Thesis/Dissertation

Total: 0.00 EUR

To access your account, please visit

<https://myaccount.copyright.com>.

Please note: Online payments are charged immediately after order confirmation; invoices are issued daily and are payable immediately upon receipt.

To ensure that we are continuously improving our services, please take a moment to complete our [customer satisfaction survey](#).

A4.2 Journal of Nano Education

FW: permission to publish JNE figures in thesis

From: Dr. H. S. Nalwa [mailto:nalwa@mindspring.com]
Sent: Wednesday, May 25, 2016 2:10 PM
To: Kurt Winkelmann <kwinkel@fit.edu>
Subject: RE: permission to publish JNE figures in thesis

Hi Kurt:

American Scientific Publishers grants permission to reuse the following whole article or parts of it in the forthcoming PhD thesis to be submitted by the student.

Nanoporous Materials: Synthesis Concepts and Model Experiments for School Chemistry Education, Timm Wilke, Stefanie Haffer, Christian Weinberger, Michael Tiemann, Thorsten Wagner, and Thomas Waitz
J. Nano Educ. 6, 117-123 (2014)

Titanium Dioxide Nanoparticles – A Teaching Course Model for School Chemistry Education, Janina Dege, Thomas Waitz, Stefanie Haffer, Verena Pietzner, Riam Abu-Much, Muhamad Hugerat and Timm Wilke
J. Nano. Educ. (in press)

Best regards,

H. S. Nalwa, PhD

Publisher

Dr. Hari Singh Nalwa | **Editor-in-Chief:** [Journal of Nanoscience and Nanotechnology](#) | Web: www.aspbs.com/jnn

Editor: [Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology \(25-Volume set\)](#) | Web: www.aspbs.com/enn

American Scientific Publishers | 26650 The Old Road, Suite 208, Valencia, California 91381-0751, USA

Phone: (661) 799-7200 | Fax: (661) 799-7230 | Email: nalwa@aspbs.com | Web: www.aspbs.com

A4.3 Praxis der Naturwissenschaften

Lieber Herr Wilke,

vielen Dank für Ihre Anfrage.

Gerne können Sie Ihre Artikel aus der „Praxis der Naturwissenschaften, Chemie in der Schule“ verwenden, eine korrekte Quellenangabe (s.u.) vorausgesetzt.

Die Rechte für die im Artikel verwendeten Fremdmaterialien (z.B. Fotos und Abbildungen) müssten Sie separat bei den in den Bildnachweisen aufgeführten Rechteinhabern einholen.

Bitte stimmen Sie die Verwendung auch mit Ihren Mitautoren ab.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg für Ihre Dissertation!

Mit freundlichen Grüßen

Katrin Demmelhuber

Rechte & Lizenzen

STARK Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG
Lilienthalstraße 2
83399 Hallbergmoos
Tel. 0811 60004-753 Fax 0811 60004-766
Geschäftsführer: Hélène Dennerly, Niels Herrmann
Handelsregister München HRA78378
UID: DE128962483
www.stark-verlag.de

Pearson Always Learning

A4.4 Mesoporöse Silica

Betreff: Thank you for your RightsLink / John Wiley and Sons transaction
Von: Copyright Clearance Center <rightslink@marketing.copyright.com>
Datum: 24.05.2016 18:06
An: <twilke2@gwdg.de>

To view this email as a web page, go [here](#).

Do Not Reply Directly to This Email

To ensure that you continue to receive our emails,
please add rightslink@marketing.copyright.com to your [address book](#).

RightsLink



Thank You For Your Order!

Dear Mr. Timm Wilke,

Thank you for placing your order through Copyright Clearance Center's RightsLink service. John Wiley and Sons has partnered with RightsLink to license its content. This notice is a confirmation that your order was successful.

Your order details and publisher terms and conditions are available by clicking the link below:

<http://s100.copyright.com/CustomerAdmin/PLF.jsp?ref=5e9c81ca-7d61-4fa7-b8d7-e7c2a1d298e2>

Order Details

Licensee: Timm Wilke
License Date: May 24, 2016
License Number: 3875430156204
Publication: CHEMKON
Title: Mesoporöse Silica
Type Of Use: Dissertation/Thesis
Total: 0.00 EUR

To access your account, please visit
<https://myaccount.copyright.com>.

Please note: Online payments are charged immediately after order confirmation; invoices are issued daily and are payable immediately upon receipt.

To ensure that we are continuously improving our services, please take a moment to complete our [customer satisfaction survey](#).

B.1:v4.2

A4.5 Makroporöse Silikone

Betreff: Thank you for your RightsLink / John Wiley and Sons transaction
Von: Copyright Clearance Center <rightslink@marketing.copyright.com>
Datum: 24.05.2016 18:03
An: <twilke2@gwdg.de>

To view this email as a web page, go [here](#).

Do Not Reply Directly to This Email

To ensure that you continue to receive our emails,
please add rightslink@marketing.copyright.com to your [address book](#).

RightsLink



Thank You For Your Order!

Dear Mr. Timm Wilke,

Thank you for placing your order through Copyright Clearance Center's RightsLink service. John Wiley and Sons has partnered with RightsLink to license its content. This notice is a confirmation that your order was successful.

Your order details and publisher terms and conditions are available by clicking the link below:

<http://s100.copyright.com/CustomerAdmin/PLF.jsp?ref=4e4bd0cf-62e0-4364-bb09-c02442c319cd>

Order Details

Licensee: Timm Wilke

License Date: May 24, 2016

License Number: 3875421451918

Publication: CHEMKON

Title: Funktionserweiterung durch Porosität: Herstellung und Eigenschaften eines porösen Silikonschwamms

Type Of Use: Dissertation/Thesis

Total: 0.00 EUR

To access your account, please visit

<https://myaccount.copyright.com>.

Please note: Online payments are charged immediately after order confirmation; invoices are issued daily and are payable immediately upon receipt.

To ensure that we are continuously improving our services, please take a moment to complete our [customer satisfaction survey](#).

B.1:v4.2

A4.6 Klett MINT-Zirkel

Lieber Herr Wilke, vielen Dank für Ihre Anfrage. Gerne können Sie Ihren Artikel aus dem „MINT-Zirkel“ für Ihre Dissertation verwenden, eine korrekte Quellenangabe vorausgesetzt. Mit freundlichen Grüßen, Michael Hellermann Dr. Michael Hellermann #excitingEDU Klett MINT GmbH Rotebühlstraße 77 70178 Stuttgart Tel.: 07 11/ 66 72-5730 Fax: 07 11/ 66 72-20 04 m.hellermann@klett-mint.de www.klett-mint.de www.excitingedu.de <https://www.facebook.com/ExcitingEDU> https://twitter.com/exciting_edu HRB-Nr.: 729251 UST-Nr.: DE 814803898 Verleger: Dr. h. c. Michael Klett Geschäftsführer: Dr. David Klett, Dr. Dierk Suhr

A5 Literaturverzeichnis

- [1] T. Wilke, S. Gerke, T. Waitz, *MINT-Zirkel* **2013**, 5 (1), 8.
- [2] K. Artelt, F. Kutteroff, T. Wilke, T. Waitz, A. Habekost, *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* **2015**, 64 (1), 25.
- [3] J. Dege, T. Waitz, T. Wilke, *Praxis der Naturwissenschaften Chemie* **2015**, 64 (4), 32.
- [4] A. Houas, *Applied Catalysis B: Environmental* **2001**, 31 (2), 145.
- [5] S. Schwarzer, T. Wilke, R. Abdelaziz, M. Elbahri, *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule* **2015**, 64 (4), 28.
- [6] R. P. Feynman, *Engineering and Science* **1960**, 22.
- [7] A. Rössler, G. Skillas, S. E. Pratsinis, *Chemie in unserer Zeit* **2001**, 35 (1), 32.
- [8] B. Niesing, *Fraunhofer Magazin* **2006** (4), 8.
- [9] I. Metz, *Nano-Tex Statement (vom 13. November 2009) - Fragen und Antworten zu Bekleidung - Jack Wolfskin*, <http://www.jack-wolfskin.de/Service/faq-2/bekleidung-2/nano-tex-statement.aspx> **2009**.
- [10] G. Beck, *Nano- und Materialkompass* **2011** (2), 11.
- [11] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, *"Aus dem Labor auf dem Teller": Die Nutzung der Nanotechnologien im Lebensmittelsektor*.
- [12] S. Reuss, *Nanotechnologie im Schulunterricht am Beispiel Rastertunnelmikroskop und Ferrofluid, Schriftliche Hausarbeit für die erste Staatsprüfung Lehramt an Gymnasien, Julius-Maximilians-Universität* **2011**.
- [13] Fraunhofer-Institut für Silicatforschung, *Nanotechnologisch optimierte Produkte*, http://www.isc.fraunhofer.de/nanotechnologisch_optim_prod.html.
- [14] Food and Environmental Hygiene Department Hong Kong, *Nanotechnology and Food Safety: Risk Assessment Studies*, Hong Kong **2010**.
- [15] U. Juschkus, *Informationen Bau-Rationalisierung* **2008**, 37 (1), 17.
- [16] C. Benzing, A. Vielfort, *NanoBox: Wunderwelt der Nanomaterialien*, Nürnberg **2009**.
- [17] H. Goesmann, C. Feldmann, *Angewandte Chemie* **2010**, 122 (8), 1402.
- [18] M. Wautelet, B. Hoppe, *Nanotechnologie*, Oldenbourg, München **2008**.
- [19] G. Schmid, *Nanoparticles: From theory to application*, Wiley-VCH, Weinheim **2004**.
- [20] M. Quinten, *Optical Properties of Nanoparticle Systems: Mie and Beyond*, John Wiley & Sons **2011**.
- [21] A. Krell, T. Hutzler, *EP1557402*, **2005**.
- [22] H. Schwertfeger, P. R. Schreiner, *Chemie in unserer Zeit* **2010**, 44 (4), 248.
- [23] W. Luther et al., *Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt: Innovations- und Technikanalyse*, 1st ed., Düsseldorf **2004**.
- [24] T. Wilke, S. Haffer, M. Tiemann, T. Waitz, *Chemkon* **2012** (19), 67.

-
- [25] P. Ottersbach, C. Schmitz, J. Averdung, L. Heinrich, A. Gutsch, *Chemie in unserer Zeit* **2005**, 39 (1), 54.
- [26] A. Jungbluth, *Initiative nanoTruck*, <https://www.nanotruck.de/> **2011**.
- [27] T. Wilke, E. Irmer, *Nanochemie und Katalyse: Eine Unterrichtseinheit im eA-Kurs Chemie*, Regionaler MNU-Nachmittag, Göttingen **2015**.
- [28] L. Kampschulte et al., *Nanotechnologie in der Schule: Innovative Ansätze für den Chemieunterricht*, 31. GDCh Fortbildungs- und Vortragstagung der Fachgruppe Chemieunterricht, Kiel **2014**.

A6 Abbildungsverzeichnis

A-Abb. 1 – Ungewichtete MindMap als Überblick zu Anwendungsfeldern von Nanotechnologie.....	1
A-Abb. 2 – Modelleexperiment zur Illustration des Oberfläche-zu-VolumenVerhältnisses.....	8
A-Abb. 3 – Aufbau des Experiments zur Photokatalyse.....	11
A-Abb. 4 –Diagramm der Konzentration von Bisphenol A zu verschiedenen Messzeitpunkten.....	14
A-Abb. 5 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.....	18
A-Abb. 6 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.....	19
A-Abb. 7 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.....	20
A-Abb. 8 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.....	21
A-Abb. 9 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.....	22
A-Abb. 10 – Screenshot des WebQuests zu Nanomaterialien.....	23
A-Abb. 11 – Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme zur Bestimmung der Partikelgröße.....	76
A-Abb. 12 – Diffraktogramm von Titandioxid-Partikeln aus Sonnencreme.....	77
A-Abb. 13 – Ausschnitt des Diffraktogramms der Titandioxid-Partikel aus Sonnencreme.....	78
A-Abb. 14 – Exemplarische Bestimmung der Halbwertsbreite.....	79
A-Abb. 15 – Folie zu Bisphenol A in Online- und Printmedien.....	83
A-Abb. 16 – Vereinfachter Mechanismus des photokatalytischen Abbaus von Acetaldehyd.....	84
A-Abb. 17 - Photokatalytischer Abbau von Methylenblau, nach HOUAS ET AL. ^[4]	85
A-Abb. 18 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln.....	93
A-Abb. 19 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln.....	94
A-Abb. 20 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln.....	95
A-Abb. 21 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln.....	96
A-Abb. 22 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln.....	97
A-Abb. 23 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln.....	98
A-Abb. 24 – Screenshot des WebQuests zu Silber-Nanopartikeln.....	99
A-Abb. 25 – Beobachtbarer Leidenfrost-Effekt in der Bratpfanne.....	100
A-Abb. 26 – Versuchsaufbauten.....	101
A-Abb. 27 – Beschreibung der Methode der Kontaktwinkelmessung an einer hydrophilen Oberfläche.....	101
A-Abb. 28 – Kontaktwinkelmessung auf einer erhitzten Aluminiumplatte.....	102
A-Abb. 29 – Temperaturprofil eines Leidenfrost-Tropfens.....	103
A-Abb. 30 - Unterschiedliche Fluoreszenzfarben von ZnO-Nanopartikeln.....	114
A-Abb. 31 – Vereinfachte Darstellung der photokatalytischen Zersetzung eines organischen Stoffes.....	116
A-Abb. 32 – Anleitung zur Beschichtung eines Objekträgers mit TTIP-Lösung.....	123
A-Abb. 33 – Schema der Oberfläche des unbehandelten und TiO ₂ -beschichtetem Glas.....	123
A-Abb. 34 – Nanotechnologie als interdisziplinäre Wissenschaft.....	126
A-Abb. 35 – a) Nanopartikel, b) Nanotube, c) Nanoplättchen. Quelle: Verändert nach ^[14]	127
A-Abb. 36 – Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis verschiedener Würfel ^[16, 17]	128
A-Abb. 37 – Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Silica-Nanopartikeln und einem menschlichen Haar.....	129
A-Abb. 38 – Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Titandioxid-Nanopartikel.....	133
A-Abb. 39 – Modell zur Erklärerung des thermochromen Effektes bei Titandioxid.....	137
A-Abb. 40 - Luftreinigende Fassade eines Krankenhauses in Mexico City.....	138

A7 Tabellenverzeichnis

A.-Tab. 1 – Messwerte einer Untersuchung der Titandioxid-Partikel mittels EDX.....	78
--	----

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass der Anhang zu der Arbeit mit dem Titel

KONZEPTUALISIERUNG DES THEMAS „NANO“ FÜR DEN CHEMIEUNTERRICHT

von mir selbstständig angefertigt wurde und dass die Stellen der Arbeit, die in wesentlichen Teilen anderen Werken entnommen sind, mit genauer Angabe der Quelle gekennzeichnet sind. Weiterhin bestätige ich, dass benutzte Hilfsmittel an entsprechender Stelle von mir angegeben wurden. Weder Dissertation noch Anhang sind weder in Teilen noch in ihrer Gesamtheit einer anderen wissenschaftlichen Hochschule zur Begutachtung in einem Promotionsverfahren vorgelegt worden.

Göttingen, den 04.10.2016

Timm Wilke