

Nanotechnologie

„There's plenty of room at the bottom“^[1] – 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.^[2]

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.^[3] Es existieren bereits heute zahlreiche Anwendungsbeispiele für Nanomaterialien, angefangen bei schmutz- und wasserabweisenden nano-TEX-Fasern^[4] über magnetischen Nanolack^[5] bis hin zu Farb- und Geschmacksstoffen in Lebensmitteln.^[6] Da es sich bei der Nanotechnologie um eine Plattformtechnologie¹ 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 Abb. 1).^[7]

¹ 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, Nutzmotoren, Generatoren etc.

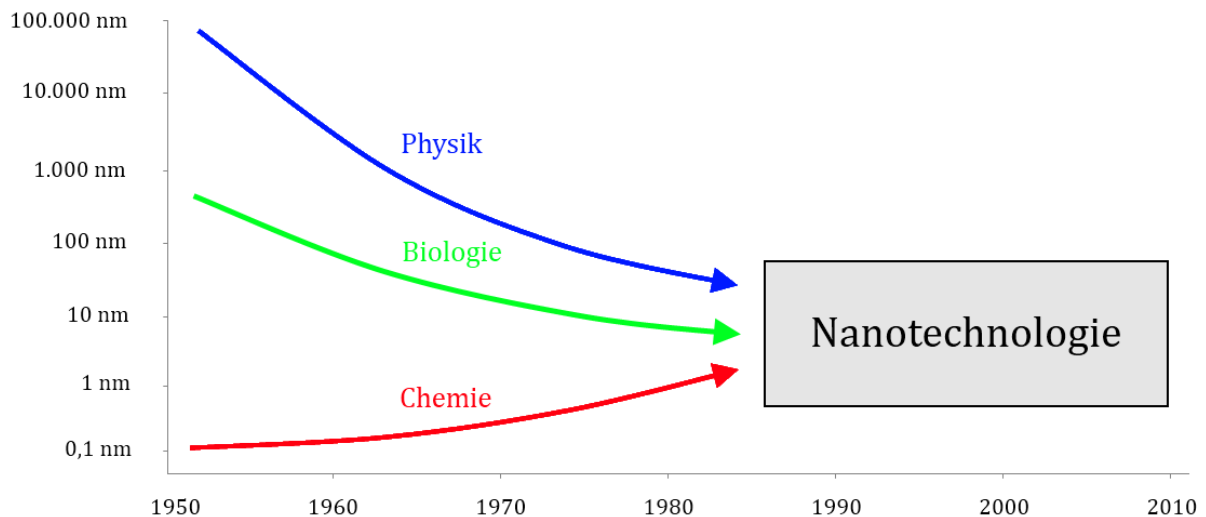


Abbildung 1 – Nanotechnologie als interdisziplinäre Wissenschaft

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 eine recht junge Disziplin^[8] 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.^[9, 10]

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 Abb. 4 dargestellt wird.^[2]

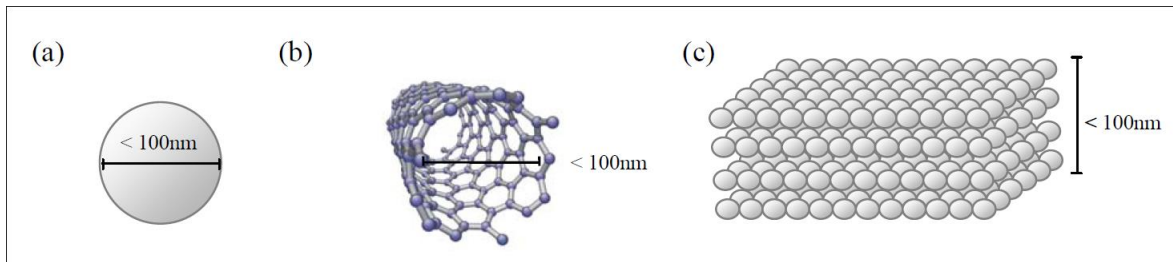
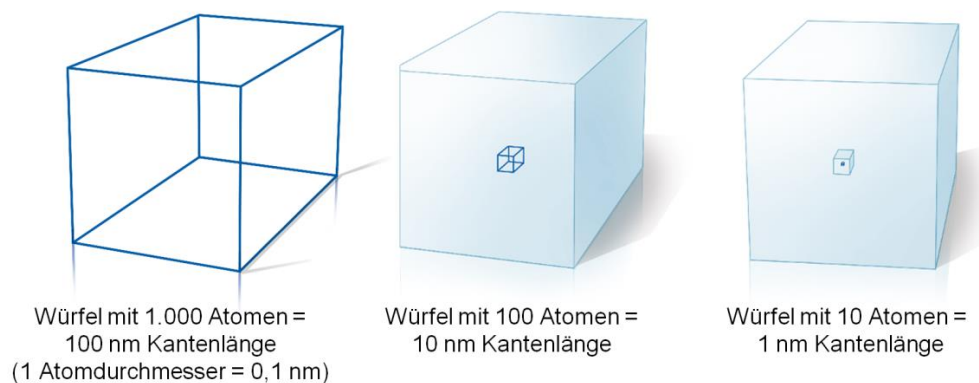


Abbildung 2 - a) Nanopartikel, b) Nanotube, c) Nanoplättchen. Quelle: Verändert nach [9]

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 Abb. 5).



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

Abbildung 3 - Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis verschiedener Würfel^[11, 12]

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^[13], 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.^[14, 15] Hieraus resultieren größenabhängigen Eigenschaften: So wechseln beispielsweise Stoffe beim Übergang vom makroskopischen Körper zum nanoskaligen Teilchen ihre Farbe^[16], werden transparent^[17], härter^[18], superparamagnetisch^[19] und steigern ihre katalytische Aktivität^[20], Nichtleiter werden leitfähig, Metalle werden zu Halbleitern.^[3]

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^[2, 21] beschrieben und sind auch im Internet^[22, 23] zu finden.

Literaturverzeichnis

- [1] R. P. Feynman, *Engineering and Science* **1960**, 22.
- [2] A. Rössler, G. Skillas, S. E. Pratsinis, *Chemie in unserer Zeit* **2001**, 35 (1), 32.
- [3] B. Niesing, *Fraunhofer Magazin* **2006** (4), 8.
- [4] 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**.
- [5] G. Beck, *Nano- und Materialkompass* **2011** (2), 11.
- [6] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, *"Aus dem Labor auf dem Teller"*:

Die Nutzung der Nanotechnologien im Lebensmittelsektor.

- [7] S. Reuss, Nanotechnologie im Schulunterricht am Beispiel Rastertunnelmikroskop und Ferrofluid, *Schriftliche Hausarbeit für die erste Staatsprüfung Lehramt an Gymnasien*, Julius-Maximilians-Universität **2011**.
- [8] Fraunhofer-Institut für Silicatforschung, *Nanotechnologisch optimierte Produkte*, http://www.isc.fraunhofer.de/nanotechnologisch_optim_prod.html.
- [9] Food and Environmental Hygiene Department Hong Kong, *Nanotechnology and Food Safety: Risk Assessment Studies*, Hong Kong **2010**.
- [10] U. Juschkus, *Informationen Bau-Rationalisierung* **2008**, 37 (1), 17.
- [11] C. Benzing, A. Vielfort, *NanoBox: Wunderwelt der Nanomaterialien*, Nürnberg **2009**.
- [12] H. Goesmann, C. Feldmann, *Angewandte Chemie* **2010**, 122 (8), 1402.
- [13] M. Wautelet, B. Hoppe, *Nanotechnologie*, Oldenbourg, München **2008**.
- [14] G. Schmid, *Nanoparticles: From theory to application*, Wiley-VCH, Weinheim **2004**.
- [15] H. Goesmann, C. Feldmann, *Angewandte Chemie International Edition* **2010**, 49 (8), 1362.
- [16] M. Quinten, *Optical Properties of Nanoparticle Systems: Mie and Beyond*, John Wiley & Sons **2011**.
- [17] A. Krell, T. Hutzler, *EP1557402*, **2005**.
- [18] H. Schwertfeger, P. R. Schreiner, *Chemie in unserer Zeit* **2010**, 44 (4), 248.
- [19] W. Luther et al., *Nanotechnologie als wirtschaftlicher Wachstumsmarkt: Innovations- und Technikanalyse*, 1st ed., Düsseldorf **2004**.
- [20] T. Wilke, S. Haffer, M. Tiemann, T. Waitz, *Chemkon* **2012** (19), 67.
- [21] P. Ottersbach et al., *Chemie in unserer Zeit* **2005**, 39 (1), 54.
- [22] nanoTruck, *Initiative nanoTruck*, <http://www.nanotruck.de/treffpunkt-nanowelten.html>
- [23] <http://www.lehrer-online.de/dasa-nano-ue.php>