

Märchen, Mythen, Möglichkeiten

Die Entwicklung der Nanotechnik profitiert bisher vor allem von Vorschusslorbeeren. Sie haben mehr trügerische Hoffnungen geweckt, als zum Verständnis des neuen Technik-Zeitalters beigetragen.

Von Niels Boeing

Für weite Teile der Öffentlichkeit ist auch nach über einem Jahrzehnt „Nanotechnik“ noch ein rätselhaftes Forschungsgebiet. Regelmäßig zeigen Befragungen¹, dass nur wenige wissen, was mit dem Begriff Nanotechnik wirklich gemeint ist. Einige verbinden sie immerhin mit kratzfestem Autolack oder selbstreinigenden Fenstern. Anderen fallen winzige Roboter ein oder auch nur entfernte Namensvettern wie der „iPod nano“. Medien und kritischere Geister wiederum haben sich auf die Gesundheitsrisiken von Nanoteilchen eingeschossen, die in Sonnencremes und vielleicht auch schon in Schokoriegeln stecken. Klar scheint nur: „nano“ bedeutet ziemlich klein.

Es ist eine ungewisse Lage, in der die Technik der Atome, Moleküle und Partikel am Anfang des neuen Jahrzehnts steckt. Ihre Weiterentwicklung wird propagiert, indem die Nanotechnik mit enormen Hoffnungen und Versprechen verknüpft wird. Immerhin nimmt die Öffentlichkeit Nanotechnik im Vergleich zur Gentechnik bislang noch recht wohlwollend wahr, wie eine Untersuchung der Verbraucherzentralen Ende 2008 ergab. Aber das könnte sich schnell ändern, wie die Herausgeber des Wissenschaftsjournals *Nature Nanotechnology* warnen: „Im Falle einer ernst zu nehmenden gesundheitlichen Bedrohung aufgrund von Nanotechnologien könnte es nach wie vor zu einer Ablehnung in der Öffentlichkeit kommen.“² Die Verfechter des neuen Technikgebiets trifft an dieser Entwicklung eine Mitschuld. Denn sie haben lange Zeit ein Bild von der Nanotechnik gezeichnet, das in verschiedener Hinsicht fragwürdig ist.

Futurismus und Innovation

Als der kalifornische Ingenieur Eric Drexler Mitte der achtziger Jahre begann, sein Konzept einer „Nanotechnologie“ zu propagieren, stieß er damit in den USA in ein visionäres Vakuum, argumentiert der Darmstädter Wissenschaftsphilosoph Joachim Schummer.³ Die Challenger-Katastrophe von 1986 hatte den amerikanischen Traum von der Eroberung des Universums platzen lassen. Futuristische Forschungsgebiete wie Künstliche Intelligenz und Kryonik blieben in der Wirklichkeit weit hinter ihren Science-Fiction-Versprechungen zurück. Da kamen die „Assembler“ gerade recht, um neue visionäre Ideen zu entwickeln: Diese Nanoroboter, sinnierte Drexler, würden eines Tages jeden Gegenstand Atom für Atom zusammenbauen und den unzulänglichen menschlichen Körper reparieren.⁴ Es entstand die Heilserwartung einer radikal neuen Technik, die Probleme von Alter und Gebrechen, Rohstoffmangel und Armut lösen würde. Für Schummer steckt darin ein Technikdeterminismus, der hinter die Errungenschaften der Aufklärung zurückfällt – ein rückwärts gewandter Gesellschaftsentwurf, der seine religiösen Untertöne nur notdürftig versteckt.

Drexler bezog sich in seinem Konzept auch auf einen Vortrag aus dem Jahre 1959, in dem der Physiker Richard Feynman eine Art „Bauen mit Atomen“ skizziert hatte.⁵ Zwar war der Vortrag lange vergessen. Aber die internationale Reputation des Nobelpreisträgers Feynman eignete sich vortrefflich, um der visionären Idee einer „molekularen Nanotechnologie“ Glaubwürdigkeit zu verleihen. Feynman zählte nach Albert Einstein zu den angesehensten

Physikern seiner Zeit. Seine Vision, winzige Maschinen zu bauen, deren Größe sich in der Zahl ihrer Atome bemisst, ist rückblickend ein wichtiger Erzählbaustein der Geschichte, mit der die Nanotechnologie zu technologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Revolution stilisiert wurde. Feynman war fortan der Prophet eines neuen technischen Zeitalters, auf den sich auch andere Wissenschaftler beziehen konnten. Selbst wenn sie Drexlers Ideen für utopisch hielten, ließen sie gerne mit den Bildern von Nanorobotern in der Blutbahn oder Weltraumaufzügen mit Nanoröhrenkabeln für ihre Forschung werben.

Die futuristische Narration erreichte einen ersten Höhepunkt, als US-Präsident Bill Clinton im Jahr 2000 schließlich die „National Nanotechnology Initiative“ (NNI) verkündete. „Shaping the world atom by atom“ lautete der Titel des Reports der National Science Foundation, der die Initiative inhaltlich vorbereitet hatte.⁶ Zugleich leitete die NNI eine Akzentverschiebung ein: Sie übernahm zwar die Heilsversprechen, mit der für die molekulare Nanotechnologie geworben wurde, als forschungspolitische Ziele, entsorgte aber das Konzept der Nanoroboter. Allzu futuristische Visionen über die technische Gestalt der Nano-Revolution könnten ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz mehr schaden als nützen, so die Befürchtung. Nanoroboter standen schon damals für die denkbare Schattenseite der neuen Technik: Sie könnten außer Kontrolle geraten und die Biosphäre des Planeten zerstören, hatte schon Drexler gewarnt. Eine Warnung, die der US-Informatiker Bill Joy in einem düsteren Essay für das Magazin *Wired* aufgriff – womit er eine erste hitzige Debatte über die Gefahren der Nanotechnologie auslöste.⁷

Es sei nicht akzeptabel, dass Schulkinder Angst vor Nanorobotern hätten und die Idee der Nanotechnologie beschädigt werde, wettete damals der Chemie-Nobelpreisträger Richard Smalley. In der Folge setzte sich eine sachlichere Darstellung durch: Die Nanotechnologie, hieß es nun, werde Innovationen antreiben und Milliardenmärkte schaffen. Zur Jahrtausendwende herrschte Goldgräberstimmung. Nanoprodukte könnten im Jahre 2015 ein Gesamtvolumen von einer Billion Dollar erreichen, verhiessen die Wissenschaftsberater William Bainbridge und Mihai Roco.⁸ Zahlreiche Staaten folgten nun dem amerikanischen Beispiel und legten eigene nationale Nano-Forschungsprogramme auf. Mit insgesamt 9,75 Milliarden Dollar öffentlicher Gelder wurde allein 2009 die Nanotechnologie gefördert. Nach dem Platzen der Internetblase versprach die Nanotechnologie das nächste Zugpferd der globalen Wirtschaft zu werden. Finanzhäuser wie Merrill Lynch schufen eigens Nano-Börsenindizes. Welche konkrete Erscheinungsform sie aber annehmen sollte, blieb weitgehend unklar.

Gegenreaktionen

Die Nano-Community aus Forschung und Industrie versäumte es, den Begriff zu präzisieren. Ihre diffuse Vision wurde zu einem Problem. Während Drexlers Konzept tatsächlich noch eine einheitliche Technologie – die der Assembler – darstellte, ging es nun um ein Potpourri aus unterschiedlichsten Verfahren in Chemie, Physik, Biotechnik und Elektronik. Gemeinsam war ihnen nur, dass sie mit Dingen oder Strukturen arbeiteten, die kleiner als 100 Nanometer sind. Dennoch wurde der Begriff „Nanotechnologie“ (im Singular) aufrechterhalten, um ihren visionären Glanz aus den neunziger Jahren weiterzutragen. Eigentlich habe es sich aber um ein „gesellschaftliches Konstrukt“ gehandelt, mit dem sich die Forschung neu organisierte, sagt der Wissenschaftsphilosoph Alfred Nordmann.

Nano-Befürworter hatten gehofft, mit der Absage an die Nanoroboter würde sich auch die Risikodebatte erledigen. Ein Trugschluss. Bereits 2002 begannen einige Toxikologen davor zu warnen, Nanoteilchen könnten Mikroorganismen und Zellen schädigen. Als die kanadische

Umweltorganisation ETC Group und die britische Sektion von Greenpeace diese Besorgnis in eigenen Studien aufgriffen, ernteten sie Kritik: die Berichte seien alarmistisch und könnten kommende Innovationen hemmen. Doch spätestens mit den kritischen Studien der Royal Society und der Royal Academy of Engineering 2004⁹ sowie des Rückversicherers SwissRe ließ sich die mögliche Toxizität von Nanoteilchen nicht mehr ignorieren.

Dabei rächte sich die diffuse, in erster Linie auf futuristische Szenarien abzielende Narration der Anfangsphase, mit der die Öffentlichkeit von den Vorzügen der Nanotechnologien überzeugt werden sollte. Obwohl der Sammelbegriff „Nanotechnologie“ vollkommen unterschiedliche Verfahren subsummiert, wurden Nanoteilchen, die die erste Welle von Nanoprodukten prägten, im Laufe der vergangenen Jahre zum Inbegriff der neuen Technologie.

Diese simplifizierende Darstellung schlug auf das gesamte Forschungsgebiet zurück. Mögliche gesundheits- und umweltschädliche Folgen, die von Nanoteilchen ausgehen können, wurden auf Nanotechnologien im Allgemeinen projiziert. Kohlenstoffnanoröhren beispielsweise werden als das „neue Asbest“ bezeichnet, weil einige Studien gezeigt haben, dass die nadelartigen, langen Moleküle – ähnlich wie Asbestfasern – in Mäusen und Ratten Entzündungen hervorrufen können. Ausgeblendet wird dabei, in welchem Zusammenhang Nanoröhren praktisch eingesetzt werden – in Transistoren, Kunststoffen, Sensoren, Batterien – und welche konkrete Form sie im Einzelfall haben. Aufgrund ihrer auffälligen Wabenstruktur sind Nanoröhren aber zu einer medientauglichen Ikone der Nanotechnik geworden, die Plakate, Bücher und Journale ziert, so dass der Eindruck entstanden ist, sie seien exemplarisch für das gesamte Gebiet. Das tatsächliche Risiko einzelner Verfahren geriet dabei immer mehr in den Hintergrund.

Inzwischen fordern auch Umweltorganisationen, die sich zunächst aus der Risikodebatte herausgehalten hatten, eine gesetzliche Regulierung von Nanomaterialien. Andere Kritiker wie die ETC Group gehen noch weiter und verlangen sogar ein Moratorium für die gesamte Nanotechnologie, die sie als „neueste Stufe der Inwertsetzung im Postfordismus“ kritisieren.¹⁰

Obwohl die Warnung vor riskanten Nanoteilchen berechtigt ist, geht sie am Wesen der neuen Technik vorbei – denn „die Nanotechnologie“ gibt es nicht. Weder erschöpft sie sich in Nanopartikeln und Nanomaterialien, noch ist es eine Technik, die im Handumdrehen das bisherige Technikverständnis auf den Kopf zu stellen vermag. Vielmehr handelt es sich um eine Weiterentwicklung sehr unterschiedlicher Technologien. Ihre Gemeinsamkeit ist, dass sie auf der atomaren und molekularen Ebene funktionieren und sich deshalb nun miteinander kombinieren lassen. Das gilt für Mikroorganismen, Werkstoffe, elektronische Schaltungen oder Medikamente gleichermaßen.

Dabei haben manche Nanotechnologien historische Vorläufer, wie etwa den berühmten Damaszener-Stahl, der seine besondere Schärfe Nanoteilchen aus Kohlenstoff verdankte. Dass sie diese durch ihr Verfahren des wiederholten Erhitzens und Abkühlens erzeugten, wussten die mittelalterlichen Schmiede freilich noch nicht. Bereits im 19. Jahrhundert beschäftigte sich die chemische Forschung mit Objekten, die aus einigen zehntausend bis hunderttausend Atomen bestehen. Diese so genannten Kolloide eigneten sich etwa in Dispersionen für die Herstellung neuer Lacke, die sich leichter verstreichen lassen, genutzt, aber auch für Arzneimittel – lange bevor für diese Objekte der Begriff „Nanoteilchen“ aufkam.

Modernere Verfahren, wie etwa das Rastertunnelmikroskop, setzten quantenphysikalische

Erkenntnisse um, die bereits aus dem frühen 20. Jahrhundert stammen. Der Physiker Gerd Binnig entwickelte 1981 mit dem Schweizer Heinrich Rohrer das Gerät, mit dem sich einzelne Atome sichtbar machen lassen. 1986 wurden die beiden dafür mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Binnig sieht heute in der Nanotechnik zurecht eine „zweite Genesis“ materieller Strukturen: eine neue Epoche der Technik, die aber keinem Masterplan folgt – erst recht nicht dem von Eric Drexler oder der NNI.

Risiken und Nebenwirkungen

Harmlos sind die neuen Nano-Technologien gewiss nicht. Mit der Vielfalt ihrer Anwendungen geht eine Vielfalt der Risiken einher, die bewertet werden müssen. So wenig absehbar jedoch auch heute noch einzelne Verfahren sein mögen, so lassen sich fürs erste zumindest drei grundlegende Erscheinungsformen benennen: eingebundene, bioaktive und autonome Nanotechnologien. Je nach Erscheinungsform besitzen diese Technologien ganz unterschiedliche Risikopotenziale.

Der größte Teil der gegenwärtigen Nanotechnologien besteht aus Strukturen, in denen die Nanokomponente fest *eingebunden* und damit von der Umwelt isoliert ist. Dazu gehören Werkzeuge zur Untersuchung von Oberflächen und Molekülen sowie Nanosensoren und -transistoren. Aber auch Beschichtungen, die selbstreinigend oder nicht-haftend sind oder Sonnenlicht in Strom umwandeln. Sie verdanken ihre Eigenschaften zwar Nanopartikeln, doch diese sind fest in der Matrix einer Trägersubstanz verankert. Sie alle stellen keine unmittelbare gesundheitliche Bedrohung für ihre Nutzer dar. Die einzige Unwägbarkeit besteht hier darin, wie sich die Nanoteilchen-haltigen Beschichtungen verhalten, wenn sie irgendwann entsorgt werden.

Anders sieht es bei den *bioaktiven* Nanotechnologien aus. Sie umfassen zum einen lose Nanopartikel, die im Produktionsprozess in die Umwelt gelangen und verschluckt oder eingeatmet werden könnten. Zum anderen sind es Nanoteilchen für medizinische Therapien, Kosmetikprodukte oder Lebensmittel. Als „Medikamentfähren“ sollen sie medizinische Wirkstoffe zielgenau in Tumorgewebe transportieren. In Sonnencremes verstärken sie die UV-Absorption, weil viele winzige Titandioxid-Teilchen eine größere Gesamtoberfläche haben als größere Teilchen, um das UV-Licht aufzufangen. In Lebensmitteln wiederum könnten Nanokugeln mit Aromen intensivere Geschmacksnoten erzeugen. Hier ist es beabsichtigt oder zumindest unvermeidlich, dass Menschen mit ihnen in Kontakt kommen. Beide Gruppen bereiten Toxikologen Kopfzerbrechen. Weil die Teilchen so klein sind, können sie Gewebearrieren wie die Blut-Hirn-Schranke, die Darmwand oder das Brustfell (Pleura) durchdringen und sich Hirn-, Leber- oder Milzzellen anreichern.

„Dieselben Eigenschaften, die Nanopartikel so attraktiv für Anwendungen in Nanomedizin und anderen industriellen Prozessen machen, könnten sich als schädlich herausstellen, wenn Nanopartikel mit Zellen wechselwirken“, warnten die Toxikologen Günter, Eva und Jan Oberdörster bereits 2005.¹¹ Zahlreiche Studien der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass Nanoteilchen an Zellmembranen oder im Zellinneren oxidativen Stress auslösen können: Es entstehen sehr reaktionsfreudige Moleküle, die die biochemische Maschinerie der Zelle durcheinander bringen und im schlimmsten Fall zu Entzündungen führen können. Die Betonung liegt dabei auf „können“ – ob dies passiert, hängt von der Form, Größe und stofflichen Beschaffenheit eines Nanoteilchens ab. Eine Faustformel, dass „nano“ gleich „Asbest 2.0“ ist, lässt sich aus den Befunden nicht ableiten. Immerhin haben toxikologische Großuntersuchungen wie das deutsche Nanocare-Projekt inzwischen erste Standards erarbeitet, wie sich Nanoteilchen so testen lassen, dass die Ergebnisse miteinander

vergleichbar und aussagekräftig sind.¹²

Ein ganz neues Terrain sind hingegen Ansätze, Nanosysteme herzustellen, die die Fähigkeit haben, sich zu vervielfältigen – und damit die Grenze zwischen belebter und unbelebter Materie verwischen. Sie bilden die dritte Klasse der *autonomen* Nanotechnologien, deren Risikopotenzial ungleich höher sein dürfte als bei einfachen bioaktiven Materialien

Die sich selbst replizierenden Assembler von Eric Drexler würden hierher gehören – wenn es sie denn gäbe. Die einzigen rudimentären Nanomaschinen, die bislang realisiert wurden, sind eher Spielereien wie das „Nano-Auto“ der Rice University oder winzige Antennen aus Kohlenstoffnanoröhren. Mit der Drexler'schen Assemblertechnologie haben sie jedoch nichts zu tun. Real sind hingegen die Ambitionen der Synthetischen Biologie, künstliche Mikroorganismen genetisch zu designen. In dem noch jungen Fachgebiet wird bereits die Frage diskutiert: Was ist, wenn „Bio-Hacker“ diese Form eine Bionanotechnologie nutzen, um neue Schädlinge zu produzieren, die in der Natur nicht vorkommen – bis hin zu neuen B-Waffen?

Doch selbst wenn man all diese Nanotechnologien sicher anwenden könnte, wären noch nicht alle Probleme beseitigt. Dass sich etwa die Nanomedizin schnell als eine hocheffiziente, kostengünstige Volksmedizin verbreitet, ist angesichts der hohen Entwicklungskosten kaum zu erwarten. Eher dürfte sie den Trend zur Zweiklassenmedizin noch befördern – und dagegen hilft dann auch keine Regulierung von Nanomaterialien. Dasselbe gilt für Fortschritte in der Nanoelektronik: Sie könnte den weiteren Ausbau einer allgegenwärtigen Überwachungsinfrastruktur entscheidend unterstützen, weil sie noch viel kleinere Sensoren und Computerchips ermöglicht, die sich kaum wahrnehmbar in die Umwelt einbetten lassen. Und schließlich könnten Nano-Technologien die globale Spaltung zwischen Norden und Süden fördern. So kritisieren etwa die südafrikanischen Wissenschaftler Thembela Hillie und Mbhuti Hlophe, dass die Entwicklungsversprechen der Nanotechnologien, etwa für sauberes Trinkwasser dank Nanofiltern, zwei Voraussetzungen haben: nämlich „Wissen zu teilen“ und „lokale technische Kapazitäten aufzubauen“.¹³ Danach sieht es jedoch angesichts des Patentwettkampfs, der längst auch die Nanotechnik erfasst hat, nicht aus.

Ausblick

Zweieinhalb Jahrzehnte, nachdem Eric Drexler den Begriff popularisierte, ist es Zeit zum Umdenken. Es kann nicht länger darum gehen, Nanotechnologien um der blanken Innovation willen voranzutreiben, aber auch nicht darum, sie unter Generalverdacht zu stellen. Die zentrale Frage für ihre weitere Entwicklung lautet daher: Welche Probleme sollen sie lösen?

Dass sie einen wichtigen Beitrag etwa für Umwelt- und Energieprobleme leisten können, spricht sich allmählich herum. Das Stichwort lautet: „grüne Nanotechnik“. Manch einer wird dies als Greenwashing einer fragwürdigen Technik abtun. Doch das wäre voreilig. Schon einfache Nanosensoren könnten etwa feststellen, ob Wasser kontaminiert ist, billige Nanofilter daraus Trinkwasser machen. Nanomaterialien könnten in neuen Solarzellen und Energiespeichern dazu beitragen, erneuerbare Energien voranzutreiben oder auch den Energieverbrauch zu reduzieren.

Eine erste Abschätzung hierzu haben Jochen Lambauer und Alfred Voß vom Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung an der Universität Stuttgart vorgelegt. Sie haben 15 Technologien, die alle eine Nanokomponente haben, bewertet. Die Forscher kommen dabei zu dem Schluss, dass konsequent genutzte Nanotechnologien den

Endenergieverbrauch in Deutschland bis 2030 um bis zu 6,7 Prozent senken könnten (bezogen auf das Jahr 2005).¹⁴ Das entspräche 171 Terawattstunden. Mit anderen Worten: Mit Hilfe der Nanotechnologien könnte hierzulande mehr als die gesamte Strommenge eingespart werden, die heute noch Atomkraftwerke zur Energieversorgung beitragen (140,5 Terawattstunden im Jahr 2007).

Doch nicht nur auf technischer, sondern auch auf politischer Ebene bleibt noch viel zu tun. Die wenigen echten Bürgerforen zur Nanotechnik in Großbritannien, Deutschland und der Schweiz haben gezeigt, dass nanotechnischen Lösungen für Umwelt und Energie, aber auch für die Medizin in der Bevölkerung höchste Priorität haben. Dabei wollen die Bürger die möglichen Auswirkungen, auch die sozialen, sorgfältig untersucht wissen. Allerdings spiegeln die forschungspolitischen Ausgaben den Bedarf nach besserer Aufklärung bislang nicht wider.

Die Empfehlungen der Bürger sind nach kurzen Dankesworten in den Schubladen der Ministerien verschwunden. Das ist ein Fehler. Denn gerade weil Nanomaterialien, -werkzeuge und -verfahren weitreichende technische, ökonomische, ökologische und soziale Auswirkungen haben, ist es wichtig, um die Akzeptanz der Verbraucher zu werben und ihre Einwände ernst zu nehmen.

Spektakuläre Nanovisionen waren gestern. „Nano“ läßt sich heute nicht mehr als visionärer Begriff instrumentalisieren, der über alle kritischen Einwände erhaben ist. In der Forschungswirklichkeit gilt es nun zu klären, welche Technologien sich dank nanoskaliger Zutaten besser und nachhaltiger nutzen lassen. Dieses herauszufinden und dabei die Technikentwicklung zu demokratisieren, das ist die neue Herausforderung der Nanotechnik.

Niels Boeing ist Physiker, Wissenschaftsjournalist und Autor des Buches „Nano?! Die Technik des 21. Jahrhunderts“ (Rowohlt Berlin 2004).

Quellen

¹ Nature Nanotechnology 4, Editorial S. 695 (Nov. 2009)

² Nature Nanotechnology 2, Editorial S. 731 (Dez. 2007)

³ Joachim Schummer: *Nanotechnologie. Spiele mit Grenzen*, edition unseld 2009

⁴ Eric Drexler: *Engines of Creation*, 1986; http://edrexler.com/d/06/00/EOC/EOC_Table_of_Contents.html

⁵ Richard Feynman: *There's plenty of room at the bottom*, 1959; <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>

⁶ Mihail Roco (ed.): *Nanotechnology. Shaping the world atom by atom*, National Science and Technology Council, December 1999; <http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Public.Brochure/IWGN.Nanotechnology.Brochure.pdf>

⁷ Bill Joy: „Why the future doesn't need us“, *Wired*, April 2000; online http://www.wired.com/wired/archive/8.04/joy_pr.html

⁸ Mihail Roco & William Bainbridge (ed.): *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, National Science Foundation, März 2001

⁹ The Royal Society & Royal Academy of Engineering: *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, July 2004; <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>

¹⁰ Joscha Wullweber: *Hegemonie, Diskurs und Politische Ökonomie. Das*

Nanotechnologie-Projekt, Nomos 2010

¹¹ Günter Oberdörster et al.: "Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles", *Environmental Health Perspectives*, Vol. 113 Nr. 7, Juli 2005, S. 823–839

¹² Thomas Kuhlbusch et al. (ed.): *NanoCare: Health Related Aspects of Nanomaterials. Final Scientific Report*, Juli 2009;
http://www.nanopartikel.info/files/content/dana/Dokumente/NanoCare/Publikationen/NanoCare_Final_Report.pdf

¹³ Nature Nanotechnology 2, Commentary S. 663 - 664 (Nov. 2007)

¹⁴ Alfred Voß, Jochen Lambauer: Nanotechnologie und ihre Auswirkungen auf die Energiewirtschaft, Vortrag auf der NanoMat, 25.5.2008



Dieser Text steht unter der Creative-Commons-Lizenz [BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Kontakt für kommerzielle Weiterverwendungen: nbo@bitfaction.com