

# Die Notwendigkeit einer offenen Nanotechnik

Niels Boeing, im Dezember 2005

## Abstract

Nanotechnology is likely to strongly affect economies and societies worldwide. As a strategy to minimize adverse consequences as well as to enable a broad productive adaptation of nanotechnology and to prevent a global „nano-divide“ I propose a concept of „open nanotechnology“. This is based on four arguments that I draw from a systems theoretical approach to technology as introduced by Günter Ropohl and from experiences with open source software and open hardware design for a secure diffusion of technology.

1. Einleitung
2. Die doppelte Herausforderung der Nanotechnik
3. Nanotechnik als Blackbox
4. Offene statt geschlossene Nanotechnik
  - 4.1. Technische Demokratie
  - 4.2. Kuhn für Nanotechnologen
  - 4.3. Debugging Nanotech
  - 4.4. Gegen eine Nano-Divide
5. Schlussfolgerungen

## 1. Einleitung

Die Nanotechnik ist in den vergangenen Jahren mit ungeheuren Erwartungen befrachtet worden. Sie soll das globale Energieproblem lösen, das bei einer Erschöpfung der fossilen Energievorräte droht. Mit ihrer Hilfe soll die Geißel Krebs ein für alle Mal besiegt werden. Sie soll die Superrechner der Zukunft ermöglichen und, glauben wir dem futuristischen Lager der „molekularen Nanotechnologie“ um den Ingenieur Eric Drexler, die Art und Weise revolutionieren, in der industrielle Produkte gefertigt werden. Drexlers rechte Hand, der Informatiker Ralph Merkle, treibt diese Erwartungen zwar auf die Spitze, wenn er sagt: „Nanotechnik wird größere Auswirkungen auf die Menschheit haben als die Industrielle Revolution.“ (Boeing 2004, S. 15) Die

Auffassung, dass Nanotechnik radikale Veränderungen mit sich bringen wird, wird aber von der Gemeinde der Nanoforscher insgesamt geteilt. Der Physiknobelpreisträger Gerd Binnig etwa, einer der Erfinder des Rastertunnelmikroskops, beschreibt ihr Potenzial nur vorsichtiger: „Der Mensch ist in diesem Moment Zeitzeuge und Gestalter einer zweiten Genesis, einer grundlegend neuen Evolution von materiellen Strukturen, die wir heute noch nicht einmal richtig benennen können.“ (Boeing 2004, S. 5)

Wenn zurzeit auch nicht absehbar ist, wann das volle Ausmaß dieser Umwälzung erkennbar wird, so lässt sich als Kern doch festhalten: Nanotechnik ist nicht einfach eine einzelne neue Technologie für den Umgang mit Atomen, Molekülen und Clustern – sie ist eine neue Stufe der Technik an sich, in der sich bisher getrennt operierende Ingenieurs- und Wissenschaftsdisziplinen im Nanokosmos treffen, vernetzen und dessen Eigenschaften auf zuvor nicht gekannte Weise nutzen. Sie nutzen neue Werkzeuge wie die diversen Spielarten der Rastersondenmikroskope, designen neue Werkstoffe und entwerfen mehr oder weniger komplexe Artefakte auf molekularer Ebene, die man grob als Nano-Devices (auf Deutsch etwa: Nanosysteme) bezeichnen könnte. Dazu werden molekulare Prozessoren oder Medikamentenfähren ebenso gehören wie die derzeit noch im Bereich der Sciencefiction angesiedelten „molecular fabricators“ von Eric Drexler.

Schon die technischen Umwälzungen des 20. Jahrhunderts haben die Gesellschaften vor allem der industrialisierten Länder dramatisch verändert. Nicht nur zum Besseren: Es sind dabei auch soziale, ökonomische und ökologische Verwerfungen zutage getreten, die die Notwendigkeit einer Technikfolgenabschätzung begründet haben. Diese ist bislang jedoch häufig reaktiv erfolgt. Dieser Umstand ist nicht nur der zunehmenden Komplexität von Technologien im Einzelnen und in ihrem Wechselspiel geschuldet, sondern auch ihrer Einbettung in eine kapitalistische Wirtschaftsordnung. In dieser dienen neue Technologien vor allem der Entwicklung neuer Produkte. Selten sind sie ausschließlich problemmotiviert wie der jüngst von MIT-Gründer Nicholas Negroponte vorgestellte 100-Dollar-Laptop für Drittweltländer oder ohne Produktabsicht akademischer Forschung entsprungen wie der Standard zur Kompression von Audiodaten MP3 (eigentlich MPEG 2 Layer 3). Wenn Technologien Produkte generieren sollen, müssen sie zwangsläufig einen „geschlossenen“ Charakter haben: Ihre Bauteile und Prozesse – kurz: ihr „Design“ – werden zumindest vorübergehend nicht offen gelegt, denn nur so können sich die Hersteller einen Wettbewerbsvorteil verschaffen. Wenn also Verwerfungen in der Verbreitung neuer Technologien auftreten, kann ihre detaillierte Analyse im Wesentlichen nur im Nachhinein erfolgen.

Nehmen wir die Erwartungen eines revolutionären Potenzials von Nanotechnik ernst, müssen wir uns fragen, ob wir uns das heute vorherrschende

Diffusionsmodell einer geschlossenen Technik weiterhin leisten können. Meine These ist, dass wir umdenken müssen:

Wir benötigen eine „offene Nanotechnik“, um 1. einen möglichst sicheren Umgang mit ihr und 2. einen breitestmöglichen Zugang zu ihr zu erlangen. Um dies zu begründen, will ich zunächst einige Orientierungspunkte für diese doppelte Herausforderung beschreiben. Im nächsten Schritt analysiere ich den Charakter und die Verbreitung nano-technischen Wissens, das eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Bewältigung der doppelten Herausforderung ist. Schließlich entwickle ich vier Argumente dafür, dass diese besser gelingen kann, wenn Nanotechnik als offene Technik angelegt wird.

## **2. Die doppelte Herausforderung der Nanotechnik**

Zwar hat die Technikfolgenabschätzung sich mittlerweile der Technik im molekularen Maßstab angenommen, doch die bisherigen Untersuchungen tappen hinsichtlich des Charakters der Nanotech-Revolution weitgehend im Dunkeln. Im Endbericht des TA-Projekts Nanotechnologie, den das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag im Oktober 2003 vorlegte, heißt es nur:

„Die Voraussetzungen für die erfolgreiche Weiterentwicklung der Nanotechnologie und die breite wirtschaftliche und gesellschaftliche Nutzung ihrer Potenziale müssen geschaffen bzw. verbessert werden.

Hieraus resultiert vielfältiger Handlungsbedarf.“ (TAB 2003, S. 30)

Hierzu raten die Autoren unter anderem, „eine zentrale Informationsstelle für die breite Öffentlichkeit“ einzurichten. Und sehr vorsichtig schließen sie in ihrer Zusammenfassung: „Die Einrichtung eines den weiteren Anwendungsprozess der Nanotechnologie begleitenden entscheidungsunterstützenden Monitoring-Programms sollte erwogen werden.“ (TAB 2003, S. 31)

Der im Juli 2004 erschienene Bericht „Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties“, den die Royal Society und die Royal Academy of Engineering von Großbritannien gemeinsam verfasst haben, enthält bereits detailliertere Empfehlungen zur Arbeitssicherheit in Nanotech-Firmen und -Laboren. Ansonsten bescheiden sich aber auch die britischen Wissenschaftler mit dem Rat:

„Wir empfehlen, dass der Chief Scientific Advisor [der britischen Regierung] eine Gruppe einberufen sollte, die Vertreter vieler verschiedener Stakeholder zusammenbringt, um die neuen und entstehenden Technologien zu prüfen und in einem frühestmöglichen Stadium Felder zu identifizieren, auf denen potenzielle Gesundheits-, Sicherheits-, Umwelt-, soziale, ethische und Regulierungsanforderungen entstehen könnten, und um Vorschläge zu unterbreiten, wie mit ihnen

umzugehen sei.“ (TRS 2004, S. 87)<sup>1</sup>

Ebenso vage nehmen sich die Versuche von Marktforschungsunternehmen aus, die ökonomischen Konsequenzen der Nanotechnik in den kommenden Jahren zu beziffern. Schätzungen reichen von einem Gesamtmarktvolumen von vorsichtigen 30 Milliarden Dollar im Jahre 2008 von BCC Research (BCC 2004) bis hin zu einer Billion Dollar im Jahr 2015 seitens der amerikanischen National Nanotechnology Initiative (Roco & Bainbridge 2001, S. 3). Dabei handelt es sich nur um globale Abschätzungen, die nicht Aufschluss darüber geben können, wie die Märkte für nanotechnische Produkte strukturiert und in verschiedenen Weltregionen ausgeprägt sein werden. Lux Research wagt immerhin folgende Prognose: „Gerade so wie die britische Industrielle Revolution das Geschäft für handwerkliche Spinnereien und Webereien zerschlug, wird Nanotechnik eine Menge milliardenschwerer Unternehmen und Industrien erschüttern.“ (Lux Research 2004)<sup>2</sup>

Beide Linien vernachlässigen, um es einmal vorsichtig auszudrücken, zwei Fragen, die sich in der technisierten Globalisierung zwangsläufig stellen, wenn wir den Wertmaßstab einer nachhaltigen Entwicklung anlegen:

1. Wie lassen sich die potenziellen Risiken von Nanotechnik wenn nicht ausschließen, so doch minimieren?
2. Wie kann eine möglichst große Zahl von Menschen – Produzenten und Konsumenten gleichermaßen – von ihr profitieren?

Ohne das Gebot der Nachhaltigkeit, wie es auf dem UN-Gipfel von Rio de Janeiro 1992 als Richtschnur für die künftige weltweite Entwicklung allgemein akzeptiert worden ist<sup>3</sup>, sind diese Fragen zweitrangig. Anleger werden sich zuerst dafür interessieren, welche Wertpapiere von Nanotechunternehmen die höchsten Renditen abwerfen. Investoren zerbrechen sich den Kopf, welche Nanotechnologie schnell neue Märkte erschließen kann. Und um es noch einmal hervorzuheben: Ginge es nur um eine singuläre Technologie, würde eine Beantwortung dieser Fragen selbst aus der Perspektive der Nachhaltigkeit nicht so drängen, weil erfahrungsgemäß nur ein Teil der Menschen unmittelbar davon

---

<sup>1</sup> Im Original: „We recommend that the Chief Scientific Advisor should establish a group that brings together representatives of a wide range of stakeholders to look at new and emerging technologies and identify at the earliest possible stage areas where potential health, safety, environmental, social, ethical and regulatory issues may arise and advise on how these might be addressed.“ (Übersetzung Boeing)

<sup>2</sup> Zitiert aus ETC (2005); im Original: „Just as the British Industrial Revolution knocked handspinners and handweavers out of business, nanotechnology will disrupt a slew of multibillion-dollar companies and industries.“ (Übersetzung Boeing)

<sup>3</sup> Als Definition von Nachhaltigkeit kann Prinzip 3 der Rio-Deklaration von 1992 gelten: „The right to development must be fulfilled so as to equitably meet developmental and environmental needs of present and future generations.“ (UNEP 1992)

betroffen ist. Bei Nanotechnik haben wir es jedoch mit der künftigen Technik dieses Jahrhunderts überhaupt zu tun, die über kurz oder lang alle Lebenswelten und Industriezweige betreffen wird. Deshalb ist eine Antwort auf die beiden Fragen vordringlich.

Woran könnte sie sich orientieren? Bei konkreten ökologischen Auswirkungen gibt es immerhin einen Anhaltspunkt. „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“, konstatieren Oberdörster et al. in der bislang umfassendsten Bestandsaufnahme zur Problematik (Oberdörster et al. 2005, S. 824). Erste toxikologische Studien haben gezeigt, dass künstlich hergestellte und chemisch funktionalisierte Nanopartikel chemische Prozesse im Inneren von Zellen beeinflussen und etwa Entzündungen in Organen auslösen können. Auch ist zu befürchten, dass ins Grundwasser gelangte Nanopartikel die Mikroben in Böden schädigen (Fortner et al. 2005).

Die toxikologischen Untersuchungen stehen jedoch erst am Anfang. Die amerikanische Chemikerin Vicki Colvin vom Center for Biological and Environmental Nanotechnology erwartet, dass frühestens in zehn Jahren ausreichende Daten für eine gründliche Risikobewertung von Nanomaterialien zur Verfügung stehen (Colvin 2005, S. 20). Welche ökologischen Risiken Nano-Devices bergen, ist zum jetzigen Zeitpunkt Gegenstand von Spekulationen, da diese bisher bestenfalls als Labor-Prototypen existieren. Sie reichen bis zum GAU der Drexler'schen molekularen Nanotechnologie, in dem selbst-replizierende künstliche Organismen („Nanoassembler“) großflächig die Biomasse ganzer Regionen zersetzen.<sup>4</sup>

Zu den sozio-ökonomischen Auswirkungen lassen sich einige Kontrapunkte zu den gängigen positiven Projektionen, die nicht selten an Heilsversprechen erinnern, heranziehen. Zwei Gruppen haben hierzu explizit Vermutungen angestellt. Eine ist das Center for Responsible Nanotechnology (CRN), ein Thinktank, der sich der theoretischen Untersuchung der Drexler'schen „molekularen Nanotechnik“ verschrieben hat. Auf seiner Website informiert das CRN in einem Überblick über den Stand seiner Folgenforschung auch über die ökonomischen Gefahren. Die Fragen, die es dabei aufwirft, sind nicht nur im Hinblick auf die molekulare Nanotechnik interessant, die den Anspruch erhebt, eines Tages Produkte Atom für Atom fertigen zu können – hier als „Nanofabrik“-Technologie bezeichnet. Sie können gleichermaßen für das gesamte Feld der komplexeren Nano-Devices gestellt werden:

---

<sup>4</sup> Dieses Szenario wurde erstmals von Drexler (1986) unter dem Begriff „Gray Goo“ beschrieben. Freitas (2000) hat eine Abschätzung für Ablaufgeschwindigkeit des GAUs vorgenommen.

„Die Flexibilität der Nanofabrikfertigung und die radikalen Verbesserungen ihrer Produkte implizieren, dass Nicht-Nanotechprodukte auf vielen Gebieten nicht konkurrenzfähig sein werden. Wird die Nanofabriktechnologie, wenn sie sich in exklusivem Eigentum und unter exklusiver Kontrolle befindet, das größte Monopol der Welt hervorbringen, mit einem extremen Potenzial für missbräuchliche, wettbewerbsverzerrende Praktiken? ...es scheint klar, dass molekulare Fertigung die gegenwärtige ökonomische Struktur ernsthaft erschüttern und dabei den Wert vieler Werkstoffe und menschlicher Ressourcen in großem Umfang reduzieren könnte, einschließlich eines großen Teils unserer heutigen Infrastruktur.“ (CRN 2005)<sup>5</sup>

Pointierter äußert sich die kanadische ETC Group, die den Part eines Advocatus Diaboli der Nanotechnik übernommen hat – im Übrigen die bisher einzige Umwelt-NGO, die das Thema ins Zentrum ihrer Veröffentlichungen stellt. In ihrem Analysepapier „Down on the Farm“ warnt sie beispielsweise davor, dass Nanotechnik den Agrarstaaten der Dritten Welt zu schaffen machen wird.

„Wenn Bauern weder die Kontrolle über neue Technologien haben, die sie betreffen, noch die Gelegenheit, Forschungsprioritäten zu setzen, dürften die Trends in der Nanowissenschaft die Unternehmensmacht verstärken und die Rechte der Bauern marginalisieren.“ (ETC 2005, S. 9)<sup>6</sup>

Unter anderem befürchtet die ETC Group, dass Baumwolle und Kautschuk durch synthetische Nanomaterialien in naher Zukunft vom Markt verdrängt werden könnten und damit Volkswirtschaften schädigt, die massiv auf Exporterlöse aus beiden Materialien angewiesen sind.

Als weiterer Anhaltspunkt für mögliche Auswirkungen kann die informationstechnische Revolution der vergangenen 30 Jahre dienen. Sie hat, entgegen den vollmundigen Versprechungen ihrer Protagonisten, nicht eine Angleichung der ökonomischen Möglichkeiten weniger industrialisierter Weltgegenden bewirkt. Tatsächlich existiert immer noch eine „Digital Divide“ zwischen Regionen, die großflächig mit Computer- und Internettechnik ausgestattet sind und damit an einer neuen Informationsökonomie teilnehmen können, und solchen, deren informationstechnische Infrastruktur bislang

---

<sup>5</sup> Im Original: „The flexibility of nanofactory manufacturing, and the radical improvement of its products, imply that non-nanotech products will not be able to compete in many areas. If nanofactory technology is exclusively owned or controlled, will this create the world's biggest monopoly, with extreme potential for abusive anti-competitive practices?... it seems clear that molecular manufacturing could severely disrupt the present economic structure, greatly reducing the value of many material and human resources, including much of our current infrastructure.“(Übersetzung Boeing)

<sup>6</sup> Im Original: „If farmers have neither control over new technologies affecting them, nor the opportunity to participate in setting research priorities, trends in nano-scale science are likely to consolidate corporate power and marginalize Farmers' Rights.“ (Übersetzung Boeing)

unterentwickelt ist. Das liegt nicht zuletzt daran, dass es ihnen sowohl an Know-how als auch an Kapitalausstattung fehlt, die entsprechenden Technologien im großen Maßstab zu lizenzieren oder immerhin zu importieren.

Schaut man auf verarbeitende Industrien, lassen sich ebenfalls Schwierigkeiten erahnen. Um ein Beispiel zu nennen: Der Maschinenpark der ägyptischen Textilindustrie, die immerhin ein Drittel des dortigen BIP erwirtschaftet, befindet sich zum größten Teil auf dem technischen Niveau der siebziger Jahre. (El-Amrousi 2004) Aus einer Zeit also, als numerisch (also rechner-)gesteuerte Fertigungsmaschinen für Drittweltländer unbezahlbar waren. Neil Gershenfeld, Physiker am MIT und Schöpfer des „Fab-Lab“-Konzepts, weist daraufhin, dass es „nicht nur im Grad der Digitalisierung... eine Kluft zwischen Industrie- und Entwicklungsländern [gibt], sondern auch in der Fabrikation“. (Boeing 2003b) Er bezeichnet diese Kluft als „Fabrication-Divide“.<sup>7</sup>

Es ist deshalb nicht auszuschließen, dass auch die Nanotechnik zunächst nur eine weitere Spaltung innerhalb der Weltwirtschaft hervorbringen wird, die man analog „Nano-Divide“ nennen könnte.

### **3. Nanotechnik als Black Box**

Diese Anhaltspunkte leuchten die Problematik, die die beiden Fragen des möglichst sicheren Umgangs und des größtmöglichen Zugangs aufwerfen, zwar schon aus. Für eine Antwort liefern sie jedoch für sich genommen noch keine ausreichende Grundlage. Hierfür benötigen wir einen analytischen Rahmen.

Einen solchen hat Günter Ropohl 1979 in seiner „Systemtheorie der Technik“ geliefert. Er unterscheidet fünf Formen technischen Wissens, von denen sich vier auch auf die Nanotechnik anwenden lassen.<sup>8</sup> Die erste ist „funktionales Regelwissen“, das zur Bedienung eines technischen Sachsystems befähigt.

„Das Sachsystem wird, kybernetisch-systemtheoretisch gesprochen, als ‚black box‘, als Schwarzer Kasten also, aufgefaßt und nicht als Resultat erkennbarer Ursachen, sondern lediglich als gegebenes Substrat von Wirkungen begriffen. Die Kenntnis des funktionalen Verhaltens ist mithin nicht aus Kausalgesetzen abgeleitet, sondern aus eigener oder fremder Erfahrung mit Reaktionsregelmäßigkeiten des Sachsystems gewonnen...“ (Ropohl 1979, S. 213)

---

<sup>7</sup> Den Begriff „Fabrication Divide“ hat Gershenfeld sowohl dem Autor gegenüber als auch in verschiedenen Reden benutzt.

<sup>8</sup> Die fünfte und einfachste Form nennt Ropohl „technisches Können“, das sich auf traditionelle handwerkliche Fähigkeiten bezieht.

„Strukturelles Regelwissen“ gibt darüberhinaus Aufschluss über das Zusammenspiel der Komponenten im Innern der Black Box. Es „umfaßt Kenntnisse über die Zusammensetzung eines Sachsystems aus Sachsubsystemen und Sachelementen und über deren Verknüpfungen sowie über die Art und Weise, in der diese Bestandteile konkret gestaltet und ausgeführt sind.“ (Ropohl 1979, S. 213)

Aber erst das „technologische Gesetzeswissen“ befähigt zu einem detaillierten Verständnis, wie ein Artefakt tatsächlich funktioniert. Es „kann sich auf funktionale und strukturelle Merkmale sowie auf deren Zusammenhang ebenso beziehen wie auf die naturalen Effekte, denen sich die Funktions- und Strukturprinzipien der Sachsysteme verdanken.“ (Ropohl 1979, S. 214)

Das „soziotechnologische Systemwissen“ schließlich bettet ein technisches Sachsystem auf einer „Metaebene wissenschaftlicher Modellkonstruktion“ (Ropohl 1979, S. 218), die über das Artefakt selbst hinausgeht, in einen Kontext ein: Wie wird es genutzt, und welches Wissen darüber steht überhaupt zur Verfügung?

Die meisten Zeitgenossen werden, wenn es um Technik allgemein geht, ein funktionales Regelwissen haben. Sie können Knöpfe drücken, Schaltflächen auf einem Computer anklicken oder ein chemisches Agens hinzufügen, um das Artefakt dazu zu bewegen, die gewünschte Arbeit zu verrichten. Über strukturelles Regelwissen verfügen Spezialisten, die entweder Produktionsanlagen steuern oder technische Geräte installieren, warten oder reparieren. Technologisches Gesetzeswissen finden wir im Wesentlichen nur noch in den Forschungsstätten von Unternehmen und Universitäten. Über soziotechnologisches Systemwissen, laut Ropohl „eine Voraussetzung für einen *aufgeklärten Umgang mit Technik*“ (Ropohl 1979, S. 218, Hervorhebung von Ropohl), verfügen nur wenige: Techniktheoretiker, Technikfolgenabschätzer, Trendforscher, Marktanalysten sowie Bürgerinitiativen etwa gegen Atomkraftwerke.

Wie ist es um das Wissen über Nanotechnik bestellt? Nanotechnik befindet sich gegenwärtig noch in einem Anfangsstadium, und die ersten Nanoprodukte – Rastersondenmikroskope, Nanosensoren oder Werkstoffe – sind bislang meist Artefakte für Spezialisten oder Forscher. Nanotechnik im Alltag beschränkt sich auf Nanopartikel in Beschichtungen mit Spezialeigenschaften wie Kratzfestigkeit oder in Kosmetika wie Sonnen- und Antifaltencreme. Oft ist die Nanokomponente nicht einmal ausgewiesen, weil sich ein Hersteller keinen vermarktbareren Vorteil davon verspricht. Das bekannteste Produkt, das ein „nano“ im Markennamen führt, ist wahrscheinlich der 2004 eingeführte iPod nano, der flache digitale Musikplayer von Apple, der allenfalls in der Festplatte einen Nanoeffekt nutzt (die Giant Magneto-Resistance, die die drastische

Miniaturisierung von Festplatten in den neunziger Jahre ermöglicht hat). Angesichts dessen dürfte die überwältigende Mehrheit der Bevölkerung selbst in hochtechnisierten Industrieländern nicht einmal ein funktionales Regelwissen von Nanotechnik haben. Umfragen in den USA, in Großbritannien und in Deutschland haben gezeigt, dass bis zu vier Fünftel der Bevölkerung mit dem Begriff „Nanotechnik“ nichts oder nur sehr vage Vorstellungen verbinden.<sup>9</sup> Anders ausgedrückt: Das nano-technische Wissen ist derzeit noch äußerst unterentwickelt.

Zwei Umstände legen nahe, dass sich dies in nächster Zeit nicht ohne weiteres ändern wird. Zum einen ist die Nanotechnik eine Technik, in der strukturelles Regelwissen und erst recht technologisches Gesetzeswissen überhaupt nur mit Hilfe von „Kognitionsapparaten“, und das heißt: von Computern, erlangt werden kann.<sup>10</sup> Wir können nicht einfach „nachsehen“, wie die Atome, Moleküle oder Partikel im Quantenraum wechselwirken und dabei einen Effekt auslösen. Auch deshalb, weil die Wellenlänge von sichtbarem Licht um ein Vielfaches größer ist als die typischen Strukturgrößen der Nanotechnik, die nach allgemein geltender Definition unter 100 Nanometern liegen. Jedes Rastertunnel-, Kraft- oder Elektronenmikroskop muss die Messdaten aus dem Quantenraum mittels eines angeschlossenen Rechners in verständliche Bilder oder Diagramme übersetzen lassen. Ein Reverse Engineering, das molekulare Prozesse enthüllen will, ist ohne diese Hilfsmittel unmöglich. Wollen etwa Molekularbiologen sich ein Bild von Proteinwirkketten im Zellinneren machen, müssen sie auf die neuen Mikroskope und Computer zurückgreifen – die ihrerseits selbst schon wieder Nanotechnik nutzen.

Die Hürde, nano-technisches Wissen durch „Nachsehen“ und Analyse zu erlangen, ist also ungleich höher als in vergangenen Technikepochen, für technologisches Gesetzeswissen noch mehr als für strukturelles Technikwissen. In gewissem Sinne ließ sich dieses Problem bereits für die Computertechnik konstatieren, denkt man all die hilflosen Computernutzer, für die die Datenbewegung unter bunten Fensteroberflächen verborgen bleibt. Einen Unterschied gab es allerdings: Dem Artefakt selbst konnten wesentliche Geheimnisse seiner Arbeitsweise entrissen werden just mit derselben Komponente, die die zu analysierenden Effekte erzielt, nämlich der Software. Dies ist die Grundlage des Hackens gewesen. Ein Hacken der Nanotechnik dürfte ungleich aufwändiger sein, weil es zusätzliche Geräte erfordert.

---

<sup>9</sup> Für die USA: [http://www.ncsu.edu/news/press\\_releases/04\\_07/211.pdf](http://www.ncsu.edu/news/press_releases/04_07/211.pdf) (besucht: 07.12.2005); für Großbritannien: <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/science/nature/3513382.stm> (besucht: 07.12.2005).

<sup>10</sup> Diesen Hinweis verdanke ich Walter Christoph Zimmerli.

Zum anderen ist die Nanotechnik bereits aus dem „zufälligen“ in ein innovationsorientiertes und damit marktgetriebenes Stadium getreten. Gerd Binnig und Heinrich Rohrer entdeckten das Wirkprinzip des Rastertunnelmikroskops noch per Zufall, ebenso Michael Grätzel die Arbeitsweise der nach ihm benannten nanostrukturierten Solarzelle. (Boeing 2004, S. 46-47 und S. 133-134) Das Konzept des Crossbar-Latch-Prozessors von Hewlett Packard hingegen entspringt bereits der ingenieurhaften Suche nach einem molekularen Chip, der Moore's Law<sup>11</sup> retten soll. Dieses hat der Halbleiterindustrie über vier Jahrzehnte ein ungeheures Wachstum beschert. Denn das Konzept des Siliziumtransistors stößt bei Strukturgrößen von 30 bis 40 Nanometer an eine Grenze, jenseits derer eine Miniaturisierung – Voraussetzung für die Gültigkeit von Moore's Law – unmöglich wird. Der Crossbar-Latch-Prozessor könnte diese Grenze überwinden, weil die Logikelemente aus schaltbaren Molekülen statt aus Siliziumtransistoren bestehen. (Boeing 2004, S. 106-107)

Der kapitalistischen Logik gehorchend, zumindest temporäre Monopole zu schaffen, hat Hewlett-Packard bereits wesentliche Konzepte dieses Prozessors patentiert. Dieser wird damit gezielt in eine Black Box verwandelt – das voll funktionsfähige Innenleben kann nur gegen Lizenzzahlung reproduziert und damit für eine „produktive Aneignung“ geöffnet werden.<sup>12</sup> Unter produktiver Aneignung verstehe ich sowohl eine weiterführende Erfindung als auch eine bloße Adaption von Technologien, mit dem Ziel, eigene Produkte zu entwickeln. Bei funktionalisierten Nanopartikeln, die beispielsweise den wasserabweisenden Effekt von Easy-to-clean-Beschichtungen auslösen oder als Medikamentenfähren in neuen medizinischen Therapien dienen, sieht es nicht anders aus. Das Marktforschungsunternehmen Lux Research sieht den Wettlauf von universitären und industriellen Forschungslaboren um Nanotechpatente bereits in vollem Gange: „Eine Goldrauschmentalität hat um sich gegriffen in der Nanotechnik, und Patente sind dabei die Schätze, die gehortet werden.“ (Lux Research 2005)<sup>13</sup>

#### **4. Offene statt geschlossener Nanotechnik**

Aus den genannten Gründen bleibt nano-technisches Wissen, das über das bisher kaum relevante funktionale Regelwissen hinausgeht, verschlossen, wenn die Entwicklung der Nanotechnik sich so fortsetzt wie bisher. Das hat zwei

---

<sup>11</sup> Moore's Law drückt den empirischen Befund aus, dass sich die Zahl der Transistoren auf Prozessorgenerationen oder deren Leistungsfähigkeit etwa alle 18 Monate verdoppelt.

<sup>12</sup> Die ursprüngliche Absicht der Patentgesetzgebung, als Ausgleich für ein temporäres Monopol das technische Konzept in der Patentschrift offenzulegen, ist in der Praxis längst der Kunst der Verschleierung gewichen

<sup>13</sup> Im Original: „A gold-rush mentality has taken hold in nanotechnology, and patents are the precious resource being hoarded.“(Übersetzung Boeing)

Konsequenzen. Der möglichst sichere Umgang mit Nanotechnik wird erschwert, *weil er mindestens struktureles Regelwissen auch bei den Nutzern erfordert*. Der Zugang zu seiner produktiven Aneignung muss entweder erkaufte oder „gehackt“ werden, *weil er technologisches Gesetzeswissen bei den Produzenten voraussetzt*. Eine Nano-Divide scheint in diesem Fall unausweichlich.

Ich behaupte, dass wir diese beiden Konsequenzen nur dann wirklich vermeiden können, wenn wir die Nanotechnik öffnen, also deren struktureles Regelwissen und technologisches Gesetzeswissen offengelegt werden. Wir brauchen eine „offene Nanotechnik“. „Offen“ ist dabei in zwei Bedeutungen zu verstehen: a) im Sinne von „transparent“, und b) im Sinne eines offenen Designs, wie wir es etwa in der Bewegung der Open-Source-Software und in geringerem Ausmaß in den ersten Bestrebungen hin zu einem Open-Hardware-Design finden. Während Transparenz für einen sicheren Umgang unerlässlich ist, richtet sich der darüber hinausgehende Aspekt eines offenen Designs gegen eine potenzielle Nano-Divide. Dafür möchte ich im Folgenden vier Argumente entwickeln.

#### **4.1. Technische Demokratie**

Das erste Argument ist ein politisches. Soziotechnologisches Systemwissen lässt sich nur erlangen, wenn struktureles Nano-Regelwissen und nanotechnologisches Gesetzeswissen schon zur Verfügung stehen. Traditionell werden hierfür Expertengremien einberufen. Dafür stehen neben TA-Institutionen auch die Bundestags-„Enquete-Kommission Recht und Ethik der modernen Medizin“ oder der 2001 eingerichtete „Nationale Ethikrat“, die sich mit Problemen und Folgen der Biotechnik befasst haben. Ortwin Renn weist jedoch mit anderen darauf hin, dass eine zeitgemäße Technikfolgenabschätzung nur noch „in einem diskursiven Prozess“ stattfinden kann, und zwar gemeinsam mit „von Folgen betroffenen Bürgern und der allgemeinen Öffentlichkeit“ (Renn 1997, S. 44). Eine bloße Informationskampagne, wie sie letztlich das TAB in seinem Report 2003 vorgeschlagen hat, hält Renn nicht mehr für ausreichend.

Man könnte dieses Argument auch als das der „technischen Demokratie“ bezeichnen. Verschiedene Technikphilosophen haben darauf hingewiesen, dass Technik längst zu einer Art zweiten Natur, ja zur Seinsweise des Homo faber geworden ist. So hat Martin Heidegger Technik als „Ge-stell“ charakterisiert. Dieses führt er so aus:

„Das Ge-stell ist das Versammelnde jenes Stellens, das den Menschen stellt, das Wirkliche in der Weise des Bestellens als Bestand zu entbergen. Als der so Herausgeforderte steht der Mensch im Wesensbereich des Ge-stells. Er kann gar nicht erst nachträglich eine Beziehung zu ihm aufnehmen.“ (Heidegger 1962, S. 23)

Wir tun Heidegger keine Gewalt an, wenn wir dies dahingehend präzisieren, dass *jeder* Mensch im Wesensbereich des Ge-stells, also der modernen Technik steht.

Eine politische Wendung in der Betrachtung von Technik bereitet später der Techniktheoretiker Langdon Winner vor, wenn er in „The Whale and The Reactor“ schreibt:

„...wenn Technologien gefertigt und in Gebrauch genommen werden, finden bereits wichtige Veränderungen in den Mustern menschlicher Aktivitäten und Institutionen statt. Neue Welten werden geschaffen. An diesem Phänomen ist nichts ‚Zweitrangiges‘.“ (Winner 1986, S. 11)<sup>14</sup>

Technik fällt also nicht vom Himmel, ist nicht einfach gegeben, sondern ein Kontext, den der Mensch aktiv formt und dem er sich nicht entziehen kann. Nicht anders als soziale oder ökonomische Strukturen wie Steuersysteme, über deren Ausformung wir in demokratischen Entscheidungsprozessen selbstverständlich befragt werden, im Prinzip jedenfalls. Warum sollte nicht also auch Technik – und in ihrer neuesten Ausprägung Nanotechnik – Gegenstand derartiger Prozesse sein?

Die Konsequenz daraus hat Winner unter anderem im Jahre 2003 formuliert, und zwar sogar explizit in Bezug auf Nanotechnik. In einer Experten-Anhörung zum Thema vor dem Wissenschaftsausschuss des US-Repräsentantenhauses fragte er: „Warum beziehen wir nicht die Öffentlichkeit frühzeitig in Beratungen über die Nanotechnik ein, anstatt auf die Reaktionen zu warten, wenn die Produkte auf den Markt kommen?“ Er präsentierte auch gleich einen Vorschlag: nämlich landesweite „Kommissionen normaler, unbefangener Bürger“ einzurichten, die – nach dem Vorbild von Geschworenen – Experten befragen, sich Forschungsergebnisse erklären lassen und daraus Empfehlungen für den Umgang mit der neuen Technik formulieren. (Winner 2003)<sup>15</sup>

Inzwischen hat ein erster Testlauf für ein derartiges Bürgerforum zur Nanotechnik stattgefunden. Im Mai 2005 riefen die britische Sektion von

---

<sup>14</sup> Im Original: „...as technologies are being built and put to use, significant alterations in patterns of human activity and human institutions are already taking place. New worlds are being made. There is nothing ‚secondary‘ about this phenomenon.“ (Übersetzung Boeing)

<sup>15</sup> im Original: „Why not include the public in deliberations about nanotechnology early on in the process rather than after the products reach the market? In that light, I believe Congress should seek to create ways in which small panels of ordinary, disinterested citizens, selected in much the way that we now choose juries in cases of law, be assembled to examine important societal issues about nanotechnology. The panels would study relevant documents, hear expert testimony from those doing the research, listen to arguments about technical applications and consequences presented by various sides, deliberate on their findings, and write reports offering policy advice.“

Greenpeace und die britische Tageszeitung Guardian gemeinsam mit Wissenschaftlern der Universitäten Cambridge und Newcastle die „Nanjury“ zusammen.<sup>16</sup> 20 Bürger ließen sich fünf Wochen lang von Wissenschaftlern, Unternehmern und Kritikern über Nanotechnik unterrichten. Im September 2005 sprachen die Geschworenen dann ihr „Urteil“. „Wenn öffentliche Gelder fließen, sollten sie in langfristige Themen wie Gesundheit und Umweltprobleme gehen“, rieten sie. Vor allem solle die Entwicklung neuer Technologien der Solarenergie gefördert werden. Und, fügten sie hinzu: „Künstlich hergestellte Nanopartikel sollen vor einer Freisetzung in einer kontrollierten Umgebung getestet werden, als ob es sich um neue Stoffe handelt, und klar gekennzeichnet werden.“ (Boeing 2005) Bedenkt man, dass genau diese Herangehensweise an mögliche toxische Gefahren von Nanomaterialien umstritten ist, gibt diese Empfehlung einen ersten Hinweis darauf, wie eine für die Allgemeinheit – repräsentiert hier von Bürgern als Nichtexperten – offene Nanotechnik einen möglichst sicheren Umgang mit Nanotechnik fördern würde. Die Jury wird im Verlaufe der Vorträge kein nano-technologisches Gesetzeswissen, wohl aber ein gewisses strukturelles Regelwissen erlangt haben, dass sie zu eben dieser Empfehlung befähigte.

Interessant ist auch eine Bemerkung von Jim Thomas von der ETC Group, der als Vertreter der Kritiker vor die Nanjury geladen war. Er fand nämlich, dass die Laien aus der Jury „bessere Fragen gestellt haben, als es etablierte Wissenschaftsgremien je tun“. (Boeing 2005) Diese Einschätzung leitet zu meinem zweiten Argument über.

## **4.2. Kuhn für Nanotechnologen**

Dies ist ein heuristisches Argument und wendet einen Gedanken des Wissenschaftstheoretikers Thomas Kuhn, den er im Zusammenhang mit wissenschaftlichen Paradigmenwechseln geäußert hat, auf technisches Wissen an. Kuhn hat darauf hingewiesen, dass für den wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt die Aufdeckung von Anomalien eines Paradigmas wesentlich ist, also von Sachverhalten, die das Paradigma nicht erklären kann. In „Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“ schreibt er:

„In der Wissenschaft tritt das Neue... nur mit einer sich durch Widerstand manifestierenden Schwierigkeit zutage, und zwar vor einem durch Erwartung gebildeten Hintergrund. Am Anfang wird nur das Erwartete und Übliche wahrgenommen – selbst unter Umständen, unter denen später Anomalien beobachtet werden. Weitere Bekanntschaft führt jedoch zu dem Bewußtsein, daß etwas falsch ist, oder sie bezieht den Effekt auf etwas, das vorher falsch gelaufen ist.“ (Kuhn 1976, S. 76)

---

<sup>16</sup> Siehe auch <http://www.nanjury.org>

Kuhn bezieht sich zwar auf wissenschaftliche Paradigmen, und Ropohl hat mit anderen darauf hingewiesen, dass es zwischen naturwissenschaftlichem und technischem Gesetzeswissen einige geringfügige Unterschiede gibt (Ropohl 1979, S. 214). Andererseits haben sich Naturwissenschaft und Technik längst unentwerrbar miteinander verwoben, so dass es mit Don Ihde „unvorstellbar [ist], an Wissenschaft ohne ihre Technologien zu denken... Wir finden hier eine Vermählung von Wissenschaft und Technik, die, wie Bruno Latour es nennt, *Technoscience* geworden ist“. (Ihde 1993, S. 25 – 26, Hervorhebung im Original)

Lesen wir deshalb das Kuhn'sche Paradigma als ein technisches Design und die Anomalie als technische Fehlfunktion, dann haben wir eine Beschreibung für die Schaffung soziotechnologischen Systemwissens vor uns. Dieser Prozess funktioniert jedoch nur, wenn das Design offen liegt. Indem Kuhn die Aufdeckung von Anomalien als Indikator für Erkenntnisfortschritt nimmt, erhebt er das Aufwerfen von Fragen an ein Paradigma zu einem zentralen Element des Erkenntnisprozesses. Je zahlreicher die Fragesteller, desto größer die Chance, den „durch Erwartung gebildeten Hintergrund“ zu überwinden. Deshalb ist Jim Thomas' Beobachtung, dass Laien teilweise interessantere Fragen stellten, meines Erachtens wesentlich für einen möglichst sicheren Umgang mit (Nano-)Technik.

### **4.3. Debugging Nanotech**

Das dritte Argument knüpft an das vorige, theoretische an, indem es auf Erfahrungen aus der Open-Source-Software-Bewegung verweist und ergänzt dies in einem wesentlichen Punkt. Ich nenne es das „Debugging-Argument“.

Das Prinzip der Free/Libre/Open-Source-Software (im folgenden kurz FLOSS genannt<sup>17</sup>) ist dadurch gekennzeichnet, dass der Code einer Software für die Allgemeinheit frei zugänglich bleibt. 1984 vom amerikanischen Informatiker Richard Stallman als politisch motiviertes Konzept gegen die Abschließung von Software durch Copyrights oder Patente begründet, hat es eine weltweite Bewegung hervorgebracht, die eine komplette Software-Infrastruktur geschaffen hat. Das bekannteste FLOSS-Programm ist das Computersystem Gnu/Linux, das in seiner Funktionalität geschützten Konkurrenzprodukten in nichts nachsteht.

Zwar ist auch FLOSS nicht vor Sicherheitslücken gefeit, die durch Programmierfehler – im Programmierer-Jargon „bugs“ genannt – entstehen,

---

<sup>17</sup> Die Begriffe „Free“, „Libre“ und „Open Source“ repräsentieren konzeptionelle Differenzen innerhalb der FLOSS-Bewegung, weshalb ich nicht einfach den gebräuchlichen, aber verkürzten Begriff „Open Source Software“ verwende. Stallman selbst etwa vertritt vehement das „Free Software“-Konzept, weil seiner Meinung nach die politische Konnotation von „free“ in „Open Source Software“ verloren gegangen ist.

doch können diese aufgrund des offen liegenden Codes effizienter ausgemerzt werden als bei geschlossener oder proprietärer Software wie etwa von Microsoft. Den Grund hat der einflussreiche FLOSS-Verfechter Eric Raymond lakonisch so formuliert: „Given enough eyeballs, all bugs are shallow“ (Raymond 1999, S. 41), dies hat er allerdings nicht empirisch belegt. Wei Li stellt es vorsichtiger dar: „Open-Source-Software kann potenziell sicherer sein als Closed-Source-Software, indem der Sourcecode von Programmen einer Peer Review nicht nur seiner Schöpfer unterzogen werden kann.“ (Li 2002, S. 11)<sup>18</sup>

Gründlichere Vergleichsstudien haben den Zusammenhang zwischen dem offenen Design und der Möglichkeit eines sichereren Umgangs in einem etwas anderen Licht erscheinen lassen. So resümiert Robert Gehring: „Offener Code allein ist keine hinreichende Bedingung, wenn auch eine erfolversprechende Voraussetzung.“ (Gehring 2004, S. 222) Als wesentliche Erkenntnis zitiert Gehring in seiner Bestandsaufnahme zum Thema „Sicherheit und Open Source“ die Feststellung der theoretischen Physiker Damien Challet und Yann Le Du, die sie aus einem mathematischen Modell ableiten:

„Aus unserem Modell schließen wir, dass Open-Source-Projekte immer schneller in einen fehlerfreien Status konvergieren... Dieses Ergebnis zeigt klar, dass Closed-Source-Projekte genügend hinreichend gute Programmierer und genügend Nutzer haben müssen, um dieselbe Softwarequalität in derselben Zeit zu erreichen.“ (zitiert nach Gehring 2004, S. 223<sup>19</sup>)<sup>20</sup>

Die Akzentverschiebung von Raymonds flapsiger Vermutung zu Challet und Le Du liegt somit in der Qualität eines technischen Produkts in Abhängigkeit vom Designprozess. Hier steht also nicht nur die Tatsache im Vordergrund, dass das Design – oder das technologische Gesetzeswissen (in diesem Fall von Software) – offen liegt, sondern entscheidend ist auch, dass die Rückkopplung zwischen Entwicklern und Nutzern effizienter ist. Challet und De Lu geben allerdings keine Anhaltspunkte dafür, ob die Nutzer lediglich funktionales oder immerhin strukturelles Regelwissen haben müssen. Angesichts der vergleichsweise schwierigeren Zugänglichkeit von nanotechnischen Artefakten wird sich zeigen, welcher Art ein verwertbares Feedback von Nutzern sein kann und muss.

---

<sup>18</sup> Im Original: „Open source software can be potentially more secure than closed source software, in which source codes of programs can be examined by Peer Review from parties other than the creators.“ (Übersetzung Boeing)

<sup>19</sup> Eine nicht-begutachtete Version des Papers befindet sich auf dem arXiv-Server unter <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0306511>.

<sup>20</sup> Im Original: „From our model we conclude that open source projects converge always faster to a bug-free state for the same set of parameters [...] This finding clearly indicates that closed-source projects must have enough programmers, good enough ones, and have enough users in order to achieve the same software quality in the same amount of time.“ (Übersetzung Boeing)

#### 4.4. Gegen eine Nano-Divide

Zuletzt möchte ich das ökonomisch motivierte „Aneignungsargument“ anführen. Auch dieses nimmt FLOSS-Erfahrungen auf: Die zunehmende Verbreitung des Betriebssystems Gnu/Linux in Schwellen- und Entwicklungsländern in den vergangenen Jahren hat gezeigt, dass ein offenes Design eine produktive Aneignung einer neuen Technik erleichtert. In China, Indien und Brasilien etwa ist Gnu/Linux vor allem deshalb populär, weil sein Einsatz die Lizenzgebühren für proprietäre Betriebssysteme wie Microsoft Windows erspart und eine Anpassung an eigene Bedürfnisse überhaupt erst möglich ist. Aber auch, weil man – vor allem in China – den Einbau von „Hintertüren“ in einem geschlossenen Code fürchtet, die etwa fremden Geheimdiensten einen verdeckten Zugang zu Informationen ermöglicht<sup>21</sup> – im übrigen ein sehr konkretes Beispiel dafür, dass Langdon Winner's Frage „Do Artifacts Have Politics?“ mehr als nur griffige Rhetorik ist.

Eine Deutung des FLOSS-Konzepts, die im Zusammenhang mit technischem Wissen von Bedeutung ist, hat der Ökonom Rishab Gosh gegeben:

„Ich glaube schon, dass die Freie Software ein Teil der Wissenschaftstradition ist, von der wir uns im Zuge verstärkter Privatisierung in den letzten 20, 30 Jahren entfernt haben. Mit FLOSS kehren wir zu einer ‚Mikroforschungsstruktur‘ zurück, von der Firmen profitieren, ohne das Ganze an sich reißen zu können.“ (Boeing 2003c)<sup>22</sup>

Nun handelt es sich bei Software-Code um technologisches Gesetzeswissen. Bei den Grundlagen der frühen Industriellen Revolution, auf die Gosh mit seinem Verweis auf die „Wissenschaftstradition“ anspielt, handelte es sich noch um naturwissenschaftliches Gesetzeswissen, das frei zugänglich war. Mechanik und Elektrodynamik waren nicht patentierbar, da ein Patent immer auch technisch sein muss. Aber schon im 19. Jahrhundert bahnt sich eine Verquickung von naturwissenschaftlichem und technologischem Gesetzeswissen an. „Einige der erstaunlichsten Entdeckungen der Wissenschaft – wie die Gesetze der Thermodynamik – wurden nicht im Hinblick auf die ‚bloße Natur‘ gemacht, sondern aufgrund von Problemen, die Maschinen – also Technik – aufgaben“, stellt Don Ihde fest. „Die Thermodynamik entstand aus den Rätseln der Dampfmaschine.“ (Ihde 1993, S. 25) Im späten 20. Jahrhundert hat diese Verschränkung bewirkt, dass etwa das neue molekularbiologische Wissen um Gene ganz selbstverständlich als patentierbar gilt.

---

<sup>21</sup> So wurde im August 1999 von verschiedenen Programmierern, die offiziell Zugang zum Windows-Code hatten, eine „NSA-Schnittstelle“ im Code entdeckt. Microsoft hat zwar bestritten, dass es sich dabei um eine Hintertür für den gleichnamigen US-Geheimdienst handelt, konnte die Vermutung jedoch auch nicht entkräften.

<sup>22</sup> Ein Beispiel für eine „Mikroforschungsstruktur“ nenne ich unten.

Diese Verschiebung ist für die Nanotechnik entscheidend. Denn während früher Atome und Moleküle Objekte wissenschaftlicher Forschung waren, deren Gesetzmäßigkeiten als naturwissenschaftliches Wissen in die Public Domain des Weltwissens übergang, sind sie jetzt *gleichzeitig* auch technische Artefakte oder Bestandteile derselben. Gene etwa sind potenzielle Artefakte für nanomedizinische Anwendungen, weshalb die jüngere Patentrechtsprechung sowohl in den USA als auch in Europa kein Problem damit hat, sie als patentierbar anzusehen<sup>23</sup>. Die Nanotechnik stellt also auch in dieser Hinsicht einen Bruch mit der bisherigen Tradition im Umgang mit Wissen dar. Eine Tradition, die die historische Industrielle Revolution entscheidend beflügelt hat und an der Schwelle zur „zweiten Industriellen Revolution“ der Nanotechnik in Gefahr ist, aufgegeben zu werden. Ich halte Goshs Argument einer Rückkehr zu einer „Mikroforschungsstruktur“ deshalb auch für eine nachhaltige Entwicklung von Nanotechnik – „nachhaltig“ hier bezogen auf die ökonomische Dimension – für essenziell.

Die Idee, nicht nur Software-Code, also Information, als offenes Design anzulegen, sondern auch „Hardware-Design“, ist nicht neu. Sie geht auf die späten sechziger Jahre zurück. Damals nahmen Pioniere wie der Informatiker Lee Felsenstein die Idee des Techniktheoretikers Ivan Illich auf, „Tools for Conviviality“, Werkzeuge zum Zusammenleben, zu entwickeln. „Die Anfänge der Heimcomputer-Industrie waren ein loser Haufen von kleinen Firmen und Tüftlern, der auf einer Kultur der Offenheit aufbaute“, sagt der Open-Hardware-Design-Experte Graham Seaman. (Boeing 2003a) Mit der Verwandlung des PCs in ein Industrieprodukt in den achtziger Jahren versank dieser Ansatz in der Bedeutungslosigkeit. Erst in jüngster Zeit gibt es erneute Versuche, das Open-Hardware-Design wiederzubeleben. Der erste Industriekonzern, der sich daran beteiligt, ist IBM: Er will das Design des Cell-Prozessors, der unter anderem auch in der nächsten Version von Sonys Playstation eingebaut sein soll, offenlegen. Man wolle ein „Ökosystem offener Hardware“ schaffen, heißt es bei IBM. (Stieler 2005, S. 34) Das ist letztlich nur eine andere Formulierung für Rishab Goshs „Mikroforschungsstruktur“, die ein alternatives Diffusionsmodell für Nanotechnik darstellt. Dieses könnte das Entstehen einer Nano-Divide im Sinne der Gershenfeld’schen Fabrication-Divide verhindern.

---

<sup>23</sup> Gegenwärtig sind rund 20 Prozent aller menschlichen Gene bereits patentiert (Lovgren 2005)

## 5. Schlussfolgerungen

Die Geschichte der Industrialisierung kennt etliche ökologische Katastrophen und ökonomische Spaltungen. Diese wurden ausgelöst durch eine geschlossene Technik, die einer Analyse erst im Nachhinein und einer produktiven Aneignung nur unter erschwerten Bedingungen zugänglich ist. Wir haben die Chance, diese Geschichte in einer künftigen „zweiten Industriellen Revolution“ der Nanotechnik nicht wiederholen zu müssen. Und zwar dann, wenn das ihr zugrunde liegende strukturelle Regelwissen und nano-technische Gesetzeswissen offengelegt werden. Beide sind Voraussetzungen für einen breitestmöglichen Zugang, der nicht allein von der Fähigkeit abhängt, Technologien einkaufen zu können, und für die Schaffung eines breiten soziotechnologischen Systemwissens, das einen möglichst sicheren Umgang mit ihr befördert. Wie diese Offenlegung konkret erfolgen könnte, geht über den Rahmen dieser Untersuchung hinaus. Auch schließt eine „offene Nanotechnik“ die Möglichkeit ihres Missbrauchs nicht per se aus. Aber sie bietet die beste Ausgangslage, die Technik des 21. Jahrhunderts im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu gestalten.

## Literatur

- BCC** (2004): *Nanotechnology: A Realistic Market Evaluation*, März 2005, Norwalk, USA: Business Communication Company
- Boeing**, Niels (2003a): „Knackt die Black Box Computer“, *Freitag*, 31.01.2003, S. 18
- Boeing**, Niels (2003b): „Visionen im trauten Heim“, *Geo*, April 2004, S. 199 - 203
- Boeing**, Niels (2003c): „Besser als in einer Firma“, *die tageszeitung*, 15.05.2003, S. 14
- Boeing**, Niels (2004): *Nano?! Die Technik des 21. Jahrhunderts*, Berlin: Rowohlt Berlin
- Boeing**, Niels (2005): „Vorsicht vor den kleinen Teilen“, *die tageszeitung*, 22.09.2005, S. 7
- CRN** (2005): *CRN Research: Overview of Current Findings – Dangers of Molecular Manufacturing*, New York, USA: Center for Responsible Nanotechnology [<http://www.crnano.org/dangers.htm#economy>] (besucht: 07.12.2005)
- Drexler**, K. Eric (1986): *Engines of Creation*, Los Altos: Foresight Nanotech Institute [<http://www.foresight.org/EOC>] (besucht: 07.12.2005)

**El-Amrousi**, Salah (2004): „Let’s get structural“, *Al-Ahram Weekly*, 718, [http://weekly.ahram.org.eg/2004/718/ec1.htm] (besucht: 07.12.2005)

**ETC** (2004): *Down on the Farm: The Impact of Nano-scale Technologies on Food and Agriculture*, Ottawa, Canada: Action Group on Erosion, Technology and Concentration [http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=485] (besucht: 07.12.2005)

**ETC** (2005): *A Tiny Primer on Nano-scale Technologies ...and The Little BANG Theory*, Ottawa, Canada: Action Group on Erosion, Technology and Concentration [http://www.etcgroup.org/article.asp?newsid=516] (besucht: 07.12.2005)

**Fortner**, J.D. et al. (2005): „C60 in Water: Nanocrystal Formation and Microbial Response“, *Environmental Science & Technology*, doi:10.1021/es048099n

**Freitas**, Robert A. (2000): *Some Limits to Global Ecophagy by Biovorous Nanoreplicators, with Public Policy Recommendations*, Richardson, USA [http://www.foresight.org/nano/Ecophagy.html] (besucht: 07.12.2005)

**Gehring**, Robert A. (2004): „Sicherheit mit Open Source – Die Debatte im Kontext, die Argumente auf dem Prüfstein“, in: R.A. Gehring & B. Lutterbeck (Hg.), *Open Source Jahrbuch 2004 – Zwischen Softwareentwicklung und Gesellschaftsmodell*, Berlin: Lehmanns Media, S. 209 - 235

**Heidegger**, Martin (1962): *Die Technik und die Kehre*, Stuttgart: Klett-Cotta

**Ihde**, Don (1993): *Philosophy of Technology*, New York: Paragon House

**Kuhn**, Thomas (1976): *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen* (zweite revidierte Auflage), Frankfurt am Main: Suhrkamp

**Li**, Wei (2002): *Security Model of Open Source Software*, [http://www.cs.helsinki.fi/u/campa/teaching/oss/papers/wei.pdf] (besucht: 07.12.2005)

**Lovgren**, Steven (2005): „One-Fifth of Human Genes Have Been Patented, Study Reveals“, *National Geographic News*, 13.10.2005 [http://news.nationalgeographic.com/news/2005/10/1013\_051013\_gene\_patent.html] (besucht: 06.12.2005)

**Lux Research** (2004): *The Nanotech Report 2004*, New York: Lux Research

**Lux Research** (2005): *Nanotechnology Gold Rush Yields Crowded, Entangled Patents*, 21.04.2005, New York, USA [http://www.luxresearchinc.com/press/RELEASE\_IPreport.pdf] (besucht: 07.12.2005)

**Oberdörster**, Günter et al. (2005): „Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles“, *Environmental Health Perspectives*, 113, 823 - 839

**Raymond**, Eric (1999): *The Cathedral and the Bazaar*, Sebastopol, CA: O'Reilly

**Renn**, Ortwin (1996): „Kann man die technische Zukunft voraussagen?“, in: K. Pinkau & C. Stahlberg (Hg.), *Technologiepolitik in demokratischen Gesellschaften*, Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, S. 23 - 51

**Roco**, Mihail & **Bainbridge**, William (2003): *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, Arlington: The National Science Foundation

**Ropohl**, Günter (1979): *Eine Systemtheorie der Technik*, München: Hanser

**Colvin**, Vicki L. (2005): „Could engineered nanoparticles affect our environment?“, in: Swiss Re, *Nanotechnology: ‚Small size – large impact‘ – Risk Dialogue Series*, Zürich: Swiss Re, S. 19 - 20

**Stieler**, Wolfgang (2005): „Alles offen“, *Technology Review* (dt. Ausgabe), August 2005, 34 - 38

**TAB** (2003): *TA-Projekt Nanotechnologie: Endbericht*, Berlin: TAB Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag

**TRS** (2004): *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, London: The Royal Society  
[<http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>] (besucht: 07.12.2005)

**UNEP** (1992): *Rio Declaration on Environment and Development*, Nairobi: United Nations Environment Programme

**Winner**, Langdon (1986): *The Whale and the Reactor*, Chicago: The University of Chicago Press

**Winner**, Langdon (2003): *Testimony to the Committee on Science of the U.S. House of Representatives on The Societal Implications of Nanotechnology*, 09.04.2003, [<http://www.house.gov/science/hearings/full03/apr09/winner.htm>] (besucht: 07.12.2005)

Vielen Dank an Moritz Avenarius und Kai Mommsen für kritische Anmerkungen.

## **Kurzbiografie**

Niels Boeing, geb. 1967 in Bochum, studierte Physik mit den Schwerpunkten Astrophysik und Wissenschaftstheorie an der RWTH Aachen und der TU Berlin. Er war von 1998 bis 2002 Wissenschaftsredakteur bei der „Woche“, Hamburg, und arbeitet seitdem als freier Wissenschaftsjournalist. 2004 erschien sein Buch „Nano?! Die Technik des 21. Jahrhunderts“ bei Rowohlt Berlin.

Web: <http://nano.bitfaction.com>

Email: nbo@bitfaction.com