

ENTFLECHTUNG – ANSÄTZE ZUM ETHISCH-GESELLSCHAFTLICHEN UMGANG MIT DER NANOTECHNOLOGIE

A. NORDMANN

Der Versuch, sich die Nanotechnologie als ein einheitliches Forschungs- und Entwicklungsprogramm vorzustellen, überfordert das Denken und Handeln. Der Allgemeinbegriff muss daher in spezifische und handhabbare Projekte herunter gebrochen werden. Hierzu wird ein Programm zur Entflechtung der Nanotechnologie empfohlen. Es handelt sich dabei um einen ethischen und politischen Ansatz, der von der ansonsten eher deskriptiven Nanowissenschaftsforschung verfolgt werden kann. Drei Beispiele verdeutlichen das Wechselspiel von Verflechtung und Entflechtung. Das erste betrifft die Definition der Nanotechnologie selbst, das zweite weist eine rhetorische Strategie auf, die ganz unterschiedliche Akteure im Feld der Medizintechnik vereinigen soll, das dritte hinterfragt den Begriff eines im Prinzip unbegrenzten Anwendungspotenzials in Bezug auf die Umwelt.

Schlüsselworte: Nanotechnologie, Nanoethik, Begriffspolitik, Medizintechnik, Potenziale

Disentangling nanotechnology

All attempts to envision nanotechnology as a unified program of technological research and development overtax our abilities to comprehend and take action. The unified conception of “nanotechnology” therefore needs to be broken down into particular and manage-

able projects. To this end, disentangling nanotechnology is presented as an ethical and political activity to be performed by philosophers, historians, and by sociologists of nanoscience and technology. Three examples demonstrate the interplay of entanglement and disentanglement. The first concerns the very definition of nanotechnology, the second considers a particular rhetorical strategy that unites different actors and interests in the field of medical technology, and the third questions the notion of an unbounded potential of nanotechnological applications for the environment.

Keywords: Nanotechnology, nanoethics, conceptual analysis, medical technology, potentials

1. EINE AUFGABE FÜR DIE NANOWISSENSCHAFTSPHILOSOPHIE

Während sich Physik, Chemie, Materialforschung und Biologie auf definierbare Problemstellungen und Phänomenbereiche beziehen, ist „Nanotechnologie“ vor allem eine soziale Konstruktion, die heterogene Problemstellungen und Phänomenbereiche zusammenfassen soll. Damit ist nicht gemeint, dass sie sich bloßer Willkür verdankt und eine Modeerscheinung ist, die auch sofort wieder verschwinden könnte. Gemeint ist auch nicht, dass ihre theoretischen Voraussetzungen und praktischen Ergebnisse keine allgemeine Gültigkeit hätten. Gemeint ist vielmehr, dass sich die „nanotechnologische“ Zusammenfassung durchaus heterogener Forschungsansätze in Physik, Chemie, Materialforschung und Biologie aus der Verflechtung vielfältiger Forscher und Geldgeber, Interessen und Erwartungen, Bilder und Programme, Labore und Fertigkeiten ergibt – einschließlich einer kontinuierlichen, bis heute nicht abbrechenden Definitionsarbeit aller beteiligten Akteure (vgl. Decker et al. 2004). In Anlehnung an den Wissenschaftsphilosophen Bruno Latour lässt sich vielleicht sagen, dass der Nanotechnologie eine handlungsfähige Koalition von Molekülen, Sondenmikroskopen, (ehemaligen) Chemikern, Visionären, (nervösen) Investoren, sogar Ethikern und Wissenschaftsphilosophen entspricht. Dass diese Koalition zustande kam, ermöglicht Forschungen und Entwicklungen, die anders vermutlich nicht stattfinden würden. Nicht nur Geld, vor allem viel gemeinsame Arbeit ist in die Nanotechnologie investiert und hat sie ganz buchstäblich verwirklicht – denn wo so viel wissenschaftliche und gesellschaftliche Wirklichkeit drin steckt, da muss auch Wirkliches herauskommen.

Dass diese handlungsfähige Koalition zustande kam, bedeutet aber auch eine Schwierigkeit für die philosophische Reflektion und den politischen Umgang mit der Nanotechnologie. Das Knäuel der Interessen, Projekte und Programme ist unhandlich und verwickelt, vor allem undurchschaubar. Als Ganzes jedoch wollen wir das Knäuel nicht annehmen oder ablehnen müssen. Gebraucht wird also ein Entflechtungsprogramm und dieses Programm

möchten die folgenden Überlegungen anhand beispielhafter Untersuchungen empfehlen.¹

Die hier gemeinte „Entflechtung“ soll zunächst also dazu beitragen, dass die Nanotechnologie politikfähig wird. An die Stelle eines allgemeinen, nicht verhandelbaren Innovationsversprechens treten konkrete wissenschaftlich-technische Projekte, jedes mit eigenen Risiken und Versprechen. Erreicht werden kann dieses Ziel aber nur, wenn wir Entflechtung wörtlich nehmen als eine Aktivität, die Fingerspitzengefühl erfordert. Mit Sorgfalt muss ein Knäuel entwirrt werden, damit der Faden nicht reißt. Auf die Nanotechnologie bezogen entspräche das der Forderung, ihre visionäre Überhöhung beispielsweise als der nächsten industriellen Revolution zugunsten nanomedizintechnischer, nanoelektronischer, nanomaterialwissenschaftlicher Programme aufzulösen, ohne dadurch die heuristische Kraft, das kreative Potenzial oder die interdisziplinäre Ausstrahlung der Nanotechnologie zu zerstören. Wenn hier also von Sorgfalt oder Fingerspitzengefühl die Rede ist, so ist eine ethische Qualität des Entflechtens angesprochen, die einer wesentlich anspruchsvolleren Nanoethik vorausgeht. Während nämlich die meisten nanoethischen Fragestellungen auf eine mehr oder weniger unbestimmte Zukunft bezogen sind, bewirkt die Entflechtungsstrategie eine Vergegenwärtigung der Problemstellungen: Statt zu fragen, was aus den nanotechnologischen Forschungen herauskommen wird und wie wir damit umgehen sollen, fragt sie nach den Annahmen und Erwartungen, die in diese Forschungen einfließen, ob es vertretbare Annahmen und angemessene Erwartungen sind. Dies wiederum setzt voraus, dass mit dem genauen historischen, philosophischen oder soziologischen Blick der Wissenschaftsforschung zunächst einmal analysiert wird, welche Annahmen und wessen Erwartungen spezifische nanotechnologischen Forschungsprogramme überhaupt motivieren.

Was sich hier gleichermaßen unbescheiden, abstrakt und in aller Kürze als Entflechtungsprogramm präsentiert, soll nun nicht weiter hergeleitet, gar mit anderen wissenschaftsphilosophischen oder nanoethischen Ansätzen verglichen werden.² Nach dem Motto „the proof of the pudding is in the

¹ Gebraucht wird somit auch eine Nanowissenschaftsforschung, die lange vor den Fragen nach Konsequenzen der Nanotechnologie einsetzt. Wissenschaftsphilosophische, erkenntnistheoretische, technikhistorische, wissenssoziologische, bildwissenschaftliche Untersuchungen müssen hiernach das „Phänomen Nanotechnologie“ aufklären, um es einem ethisch-politischen Diskurs überhaupt erst zugänglich zu machen. Hierfür argumentiert dieser Beitrag wenigstens implizit.

² Hier soll auch nicht thematisiert werden, inwieweit Philosophen, Ethiker, Technikfolgenabschätzer mit der Nanotechnologie verflochten sind und ihrerseits wesentlich zur Stützung der sozialen Konstruktion beitragen. Insofern die Entflechtungsstrategie nicht nur zerstören, sondern das heuristische Potenzial erhalten soll, verharret auch die mit der Entflechtung befasste Wissenschaftsforschung im Bannkreis nanotechnologischer Forschung und gewinnt allenfalls größere Klarheit über ihre eigene Positionie-

„eating“ wird zunächst am Begriff „Nanotechnologie“ vorgeführt, wozu dessen Entflechtung gut sein kann. Ein zweites Beispiel kann verdeutlichen, wie sich verschiedenste Akteure auch über eine nur scheinbar geteilte Vision verbünden dürfen. Nachdem diese Verflechtung ihre Arbeit getan und ein medizintechnisches Programm auf den Weg gebracht hat, wäre allen Akteuren und der Technikentwicklung selbst durch Entflechtung ihrer Interessen gedient. Ein letztes Beispiel wendet sich dem Verhältnis von Nanowissenschaft und Umwelt zu und will die Vorstellung eines unendlichen Potenzials möglicher Anwendungen auf kleinere, überschaubare, gegenwartsbezogene Schritte herunterbrechen.

2. DEFINITIONEN DER NANOTECHNOLOGIE

Schon die Definition der Nanotechnologie ist kein unschuldiges Unterfangen.³ Je nach dem, wie wir definieren, ergeben sich machtloses Staunen und hilflose Spekulation, kritische Distanz und politische Gestaltbarkeit. Und je nach dem, wie wir definieren, steht uns entweder eine Revolutionierung aller Lebenszusammenhänge bevor oder es geht um eine ganz gewöhnliche, trotzdem folgenreiche Modeerscheinung. Schließlich hängt von unserer Definition ab, ob wir es mit einer noch nicht absehbaren Zukunftstechnologie zu tun haben oder mit einer gegenwartsbezogenen Programmatik.

Unschuldig ist auch keineswegs der normale Weg der Definition, nämlich erst einmal den kleinsten gemeinsamen Nenner nanotechnologischer Forschungen ausfindig zu machen. Dieser kleinste gemeinsame Nenner ist nämlich für unser Denken und Handeln immer noch viel zu groß. Dies gilt sogar für die enorme Anstrengung einer Arbeitsgruppe der Europäischen Akademie, diesen kleinsten Nenner möglichst klein zu halten (Schmid et al. 2004, 2006). In all diesen Definitionen wird nämlich nur der Gegenstand der Nanoforschung festgelegt. Die Nanotechnologie erscheint dann darüber hinaus als das schier unendliche Potenzial der Anwendungsmöglichkeiten, die sich aus diesem Gegenstandsbereich ergibt (Royal Society 2004, S. 5).

So heißt es typischerweise, die Nanotechnologie nutze Eigenschaften, die erst in der molekularen Größenordnung von 1 bis 100 Nanometern (10^{-9} bis 10^{-7} Metern) auftreten und die gegenüber makroskopischen Erscheinungen diskontinuierlich sind. Als Beispiel hierfür wird gern das Gold angeführt, dessen Farbe, dessen chemische Inaktivität und darum Gesundheitsverträglichkeit wohl bekannt sind. Wenn nun aber die chemische Zusammensetzung beibehalten und das Gold nur auf die Größe eines Nanopartikels verkleinert

rung. Eine von Prinzipien geleitete philosophische Kritik der Nanoforschung, bzw. ihres metaphysischen Programms ist im Wechselspiel von Verflechtung und Entflechtung nicht möglich und findet darum auch viel zu selten statt (vgl. aber Dupuy 2005).

³ Die folgenden Überlegungen wurden zuerst für die Zeitschrift *Politische Ökologie* entwickelt (Sonderheft zur Nanotechnologie, Nr. 101, Oktober 2006, S. 20–23).

wird, verändern sich diese Eigenschaften. Die Nanotechnologie wäre nun all das, was sich derlei Veränderungen zunutze macht. Und was könnte dies sein? Hier werden durch die Definition keine Grenzen gesetzt. Wenn Kohlenstoff Nanoröhrchen interessante optische Eigenschaften besitzen, wären dann nicht ganz andere Computer denkbar, die nicht mehr binär elektronisch arbeiten, sondern mit dem Farbspektrum photonisch? Wenn nanoskalige Fasern besonders leicht und stark sind, könnten wir nicht ein Seil aus ihnen winden, an dem ein Fahrstuhl in den Weltraum fährt? Wenn zu den neuen Eigenschaften die Selbstorganisationsprozesse der Natur gehören, können wir uns dann nicht Nanosysteme, sogar kleine Roboter vorstellen, die sich von selbst produzieren und reproduzieren? Und so weiter.

Keine dieser hypothetischen Behauptungen ist ganz unsinnig, jede wird tatsächlich aufgestellt und noch viele andere mehr. Soll die Nanotechnologie nun die Summe all dieser Aussagen umfassen, so haben wir es mit fantastischen Möglichkeiten, aber auch beängstigenden Aussichten zu tun. So oder so staunen wir dann machtlos vor dem immensen Potenzial und suchen beispielhaft Orientierung an dieser oder jener Spekulation. So oder so trauen wir dann der Nanotechnologie alles zu und starren gebannt auf eine ferne oder nahe Zukunft, in der nichts so bleiben muss, wie es ist. Damit entzieht sich die Nanotechnologie der Vorstellungskraft, ist dem kritischen Denken und politischen Handeln unverfügbar. Sie bleibt ein Spielball vager Ahnungen. Wer gegenüber der Technik insgesamt positiv eingestellt ist, hat auch nichts gegen Nanotechnik, und wer gegenüber der technischen Entwicklung Vorbehalte hat, traut auch den nanotechnologischen Versprechungen nicht (Gaskell et al. 2004).

Nun lässt sich aber „Nanotechnologie“ ganz anders definieren, nämlich als politisches Konstrukt, das heterogene Forschungsentwicklungen zusammenfasst. Natürlich haben diese Entwicklungen etwas gemeinsam. Von allen wird die Erschließung neuer Märkte erwartet und alle manipulieren Eigenschaften von Strukturen im Bereich von 1 bis 100 Nanometern. Aber vielleicht kommt es nicht so sehr auf diese Gemeinsamkeiten an, sondern auf die spezifischen Programme, die hier zusammenfließen. Zumindest – wie im folgenden Überblick – lassen sich grob vier nanotechnologische Programme oder Tendenzen unterscheiden.

2.1. MINIATURISIERUNG

Die erste dieser vier Tendenzen ist zugleich die bekannteste. Sie führt von der Mikro- zur Nanotechnologie. Als Triebkraft ist die scheinbar unaufhaltbare Miniaturisierungstendenz nicht zu unterschätzen. Hinter ihr steht nämlich ein „Gesetz“, das manch einer für ein Naturgesetz der Technikentwicklung halten will, das sich die Chiphersteller jedenfalls zur Zielvorgabe gemacht haben. Nach „Moore’s Law“ soll sich die Technikentwicklung im-

mer weiter beschleunigen, weswegen insbesondere die Halbleitertechnik in den Nanobereich vordringen muss.⁴ Dabei stößt sie an physikalische Grenzen, die neue nanotechnische Bausteine erforderlich machen. Die Vision einer molekularen Elektronik umfasst deshalb beispielsweise die Vorstellung eines Drahts, der aus einem einzigen Molekül besteht und den Durchmesser eines Atoms hat.

Ob sie sich als realisierbar erweist oder nicht, scheint diese Vision jedenfalls nur ein stereotypes Immer-Kleiner, Immer-Schneller und Immer-Billiger zu beschwören. Wenn hier etwas grundlegend Neues entstehen sollte, dann darum, weil die permanente Verkleinerung ja für etwas gut sein muss. Ganze Computer auf einem Chip, verteilte Prozessoren in intelligenten Umwelten, nicht mehr wahrnehmbare und mit der Luft eingeatmete Sensoren würden solche diskontinuierlichen Anwendungsfelder darstellen, die unser Selbst- und Weltverhältnis grundlegend verändern könnten. Tatsächlich mag gerade die nanotechnologische Fortführung der an sich langweiligen Miniaturisierungstendenz den größten gesellschaftlichen Umbruch zeitigen.

2.2. MOLEKULARE WELTGESTALTUNG

Während die Miniaturisierungstendenz so bekannt klingt und schon so lange anhält, dass sie bereits als bescheidene Vision gelten kann, verdient das zweite nanotechnologische Programm eine ehrgeizige Überschrift wie die der „molekularen Weltgestaltung“. So trat die US-amerikanische National Nanotechnology Initiative mit der Broschüre „Shaping the World Atom by Atom“ an die Öffentlichkeit (Amato 1999). Für diese Vision der Nanotechnologie gilt, dass offiziell kein besonnener Forscher daran glaubt, dass sie im Hintergrund aber doch äußerst wirkmächtig ist.

Unglaublich ist diese Vision, weil es außerordentlich schwierig und auch nicht sonderlich effizient wäre, erst Moleküle und dann die ganze Welt Atom für Atom zusammensetzen. Und doch spielt diese Vision in die vier berühmtesten Gründungsmomente der Nanoforschung hinein. Da ist zunächst der 1959 von Richard Feynman gehaltene Vortrag „There’s Plenty of Room at the Bottom“ (Feynman 2001). Fast vierzig Jahre lang wurde er ignoriert, jetzt gilt als visionär, wie Feynman die Möglichkeit beschreibt, einzelne Atome mit Hilfe eines Hebelsystems mechanisch zu bewegen. Auch Eric Drexler, der spekulativste und womöglich einflussreichste aller Nanovisionäre, setzt auf präzise Konstruktion von Gangschaltungen und Zahn-

⁴ Es gibt unterschiedliche Formulierungen von „Moore’s Law“. Es gilt als Arbeitsprogramm und erfolgreiche Vorhersage für die Halbleitertechnik, der zu Folge sich Speicherkapazität und Rechengeschwindigkeit von Computerchips alle 18 Monate verdoppeln, in jedem Zeitraum von 18 Monaten also sehr viel größere Schritte vollzogen werden, als in jedem vorhergehenden.

rädern, die aus einzelnen Atomen willkürlich zusammengebaut werden sollen. Obwohl sich die meisten Nanoforscher von Drexlers Visionen distanzieren, halten sie die endlich gelungene willkürliche Bewegung einzelner Atome für den entscheidenden Durchbruch der Nanotechnologie. Er kam mit der Erfindung des Rastertunnelmikroskops und schließlich der legendären Buchstabierkunst Don Eiglers und Erhard Schweizer, die 1990 aus 35 Xenon Atomen den Schriftzug „IBM“ erzeugten (Eigler und Schweizer 1990).

Alle Beteiligten wissen natürlich: Was Eigler und Schweizer unter extremen Bedingungen und Ausschaltung vieler Kräfte auf einer ebenen Fläche gelang, ist Lichtjahre entfernt von der Konstruktion eines dreidimensionalen Moleküls. Wenn die im Schriftzug „IBM“ ausgeübte Kontrolle dennoch vorbildlich bleibt, dann hat das mit weitreichenden Vorurteilen zu tun, die tief in der Forschung verankert sind. Hier verbindet sich ein naturwissenschaftlich-reduktionistisches mit einem mechanisch-technischen Weltbild, dem zu Folge die Natur auch nur ein Ingenieur ist (Nordmann 2006c). Da wir uns nun angeblich ihre Konstruktionsprinzipien zu eigen machen können, sehen wir überall nur noch Maschinen – in den menschlichen Zellen einerseits, in den Produkten der Nanotechnologie andererseits.

Für manche bedeutet dies, dass die Nanotechnologie dann die größten Auswirkungen haben wird, wenn unsere herkömmlichen Maschinen durch nanotechnische ersetzt werden. Unter dem Stichwort „molecular manufacturing“ stellen sich diese Visionäre die Abschaffung abfallproduzierender Fabriken vor. An ihre Stelle trete eine Produktionsweise, die globalen Überfluss und die Lösung aller Umweltprobleme verspricht: Beliebiges Material wird in ein Gerät gelegt, das so ähnlich wie ein Mikrowellenherd aussehen soll. Die Umwandlung des molekularen Materials wird programmiert und aus Erde wird zielgenau Gold, aus Dreck ein essbares Nanoschnitzel. Kein seriöser Forscher glaubt daran, aber mit dem Gedanken wird trotzdem gerne gespielt – vom sogenannten „Center for Responsible Nanotechnology“ bis hin zum Münchner Nanoforscher Wolfgang Heckl (Treder und Phoenix 2006, Bayerischer Rundfunk 2003). Zwischen den Zeilen findet es sich auch in Stellungnahmen der europäischen Kommission (European Commission 2004, S. 10).

2.3. NANOSTRUKTURIERTE MATERIALIEN

Die Beharrlichkeit der Maschinenfantasien ist auch darum interessant, weil die tatsächlichen Erfolgsgeschichten der Nanoforschung in die entgegengesetzte Richtung weisen. Die programmatische Suche nach neuen Materialien mit neuen Eigenschaften verfährt nämlich keineswegs mit atomarer Präzision und nach mechanischen Bauplänen. Hier war es der Saarbrücker Nanoforscher Herbert Gleiter, der schon 1981 den Weg für Nanomaterialien,

neue Oberflächenbeschichtungen und neue Produktionsmethoden für Nanopartikel ebnete. Das hierfür entscheidende Stichwort ist „Nanostrukturierung“: Neue Materialeigenschaften ergeben sich schon, wenn im Material eine Art nanoskaliger Unordnung entsteht. So ist eine bekannte Tatsache, dass Metall durch Hämmern gehärtet werden kann, wobei das Hämmern Defekte in das Material einbaut, die seine Verformung erschweren. In manchen Nanomaterialien wird dieses Prinzip auf die Spitze getrieben, so dass sie gewissermaßen nur noch aus Defekten bestehen.

Dies wäre ein Paradebeispiel dafür, dass neue Eigenschaften dort entdeckt und nutzbar werden, wo nanoskalige Strukturen dominieren. Die Suche nach neuen Materialeigenschaften entspricht also besonders gut der allgemeinen Definition, die als kleinster gemeinsamer Nenner angeboten wird, und sie hat bisher auch die größten wirtschaftlichen Erfolge zu verbuchen. Schmutzabweisende Oberflächen, kratzfeste Gläser, reibungsfreiere Golf- und Bowlingbälle sind dementsprechend die derzeit bekanntesten kommerziellen Nanoprodukte. Doch so wie noch nicht realisierte Geräte und Maschinen ein höheres technisches Prestige genießen als bloße Materialien, so verschwinden auch Herbert Gleiter und die Materialwissenschaft aus den Gründungsgeschichten der Nanotechnologie (Nordmann 2006a).

Dieses Vorurteil spiegelt sich auch auf der Ebene ethischer und gesellschaftlicher Reflektion auf die Nanotechnologie wider. Den molekularen Maschinenfantasien mag es an wissenschaftlich-technischer Glaubwürdigkeit mangeln, aber ihr revolutionäres Potenzial erweist sich als fruchtbar für aufregende Spekulationen über die Zukunft der Menschheit. Dabei wird schnell übersehen, wie sich die Lebensqualität auf unserem Planeten durch die Einführung neuer Materialien wie Plastik oder Asbest verändern konnte (Meikle 1995, Gee und Greenberg 2002).

2.4. IDEALE KÖRPER

Zur Definition der Nanotechnologie muss abschließend kurz auf eine letzte nanotechnische Tendenz eingegangen werden, das sich auf einfache Bauelemente bezieht, die neue Konstruktionsweisen ermöglichen sollen. Drähte, Schalen, Nanoröhrchen und Buckybälle sind solche idealen Körper. Insbesondere letztere sehen so harmonisch strukturiert aus, dass sie gemacht und also schon als nanotechnisches Produkt erscheinen. Das nur von der Struktur her „most beautiful molecule“ kommt jedoch natürlich vor – und zwar ausgerechnet im Ruß.

Während Nanoforscher solche exponierten Strukturen zu kontrollieren lernen, denken sie sich mögliche Anwendungsmöglichkeiten aus. Kohlenstoff-Nanoröhrchen könnten als Fasern zur Materialverstärkung dienen oder als Komponenten einer neuen Chiparchitektur. Vielleicht können sie Medikamente gezielt zum Krankheitsherd im Körper transportieren oder

Flüssigkristalle in Flachbildschirmen ablösen. Wozu sie wirklich gut sind, muss sich aber noch erweisen.

Vor allem mit derlei Bauelementen stellt sich die Nanotechnologie als so genannte Schlüsseltechnologie oder „enabling technology“ dar. Sie erarbeitet technische Angebote, für die es noch keine Anwendungen oder Nachfrage gibt. Wozu die Kohlenstoff-Nanoröhrchen gut sind, liegt nicht allein in ihrer Struktur und ihren Eigenschaften begründet, sondern hängt auch davon ab, was für Probleme wir mit ihrer Hilfe vorrangig lösen wollen. Indem sie sich als Schlüsseltechnologie präsentiert, öffnet sich die Nanotechnologie somit auch schon gesellschaftlichen Gestaltungsprozessen.

Angesichts dieser vier grob skizzierten Ansätze, wer wollte da noch von „der Nanotechnologie“ im Singular sprechen? Statt auf Vereinheitlichung zu drängen, regt jedes dieser Programme kritische Nachfragen und weitere Differenzierungen an. Gerade die vagen ökologischen Versprechungen der Nanotechnologie und die mit ihr verbundenen ähnlich vagen ökologischen Bedenken bedürfen solcher Differenzierungen, damit sie greifbar werden und die nanotechnologischen Programme beim Wort genommen werden können.⁵

3. EFFIZIENZ DER NANOMEDIZINTECHNIK

Ein zweites Beispiel soll über die vornehmlich begriffliche Entflechtung hinausgehen. Hier geht es um die Entflechtung verschiedener Interessen und Akteure, deren Widerstreit für die Entwicklung der Nanotechnologie fruchtbarer sein könnte als deren Verflechtung. Als Ausgangspunkt dient ein durchaus typischer Text über Nutzen und Risiken, ethische, rechtliche und soziale Aspekte der Nanotechnologie.⁶

Den Patienten wird diese nahe am Patienten orientierte [„lab-on-a-chip“] Diagnostik eine optimierte Therapie mit weniger medikamentösen Nebenwirkungen ermöglichen. Die gezielte oder personalisierte Medizin reduziert Medikamentenkonsum und Therapiekosten und bewirkt somit einen gesamtgesellschaftlichen Nutzen durch Kostenreduktion in öffentlichen Gesundheitssystemen. [...] Sowohl die Gesamtverabreichung von Medikamenten wie auch ihre Nebenwirkungen können wesentlich gemindert werden, wenn die Wirkstoffe nur in den befallenen Regionen deponiert werden und dort nur in der nötigen Dosierung. Dieser höchst selektive Ansatz reduziert Kosten und menschliches Leiden (Malsch 2004, S. 19f.).

⁵ Natürlich kann „die Nanotechnologie“ auch anders entflochten und nur von sehr spezifischen Nanotechnologien gesprochen werden.

⁶ Die folgenden Überlegungen erschienen zuerst in Nordmann 2006b.

Hier wird das Versprechen einer besonders effizienten Medizin formuliert. Auch wenn sich Ärzte und Patienten einerseits, Wissenschaftler andererseits und drittens Gesundheitspolitiker jeweils etwas anderes unter Effizienz vorstellen, werden alle drei Personengruppen gleichzeitig angesprochen. Ärzten und Patienten wird eine effizientere Behandlungsmethode angekündigt, die in geringer Dosierung, gezielter Verabreichung, weniger Nebeneffekten, maximaler Ausnutzung des Wirkstoffs und Minimierung des Eingriffs besteht. Somit kann die Nanotechnik Ärzten helfen, das Leiden der Patienten zu reduzieren und mittels ihrer Verschreibungen nicht etwa selbst Schaden zu verursachen. An die Wissenschaft appelliert das Versprechen auf ganz anderer Ebene. Effizient soll die Nanomedizintechnik darum sein, weil sie Erkrankungen an ihrer biochemischen Wurzel packt. Hier geht es um Verstehen und technische Kontrolle auf molekularer und zellulärer Ebene, was dem klassisch naturwissenschaftlichen Impuls entgegenkommt, Krankheit und Gesundheit auf physiologische Fragen zu reduzieren. Ein drittes Effizienzversprechen wird Gesundheitspolitikern gemacht, dass nämlich genauere Diagnostik und weniger Redundanz zu sparsameren, also kostengünstigeren Behandlungsmethoden führt. Die Nanomedizintechnik biete somit die dringend benötigte Antwort auf steigende Gesundheitskosten.

Es bedarf keiner genauen Analyse, um der Spannungen zwischen all diesen Versprechen gewahr zu werden. Es kann mit erheblichen Kostensenkungen verbunden sein, wenn beispielsweise Diabetiker symptomatische Blutwerte mit einfachen instrumentellen Verfahren selbst erheben und sich dem entsprechend auch selbst behandeln können. Hier fällt erhöhte individuelle Lebensqualität tatsächlich mit einem gesamtgesellschaftlichen Nutzen zusammen, weil eine Vereinfachung der Verfahren erreicht wurde. Wenn aber die Diagnostik auf die individuelle Konstellation zahlreicher Messungen und womöglich auf das Genom der Patienten zielt, wenn Medikamente spezifisch auf befallene Zellen abgestimmt werden, dann klingt das keineswegs nach Vereinfachung oder Kostenersparnis. Die Behandlung bliebe bei allem wissenschaftlich-technischen Einsatz weiterhin symptomatisch, nur sehr vieler lokaler auf isolierbare zelluläre Prozesse beschränkt.

Nun können alle angesprochenen Personengruppen, aber auch das Forschungsprogramm „Nanomedizintechnik“ selbst geradezu befreit werden, wenn die enge Verstrickung dieser verschiedenen Effizienzversprechen entflochten wird.

So ist der Gesundheitspolitik mit falschen Erwartungen auf Kostenreduktion durch Forschungsinvestitionen nicht geholfen. Besser wäre ein explizites Bekenntnis auch zu einer kostenintensiven Medizin als positivem Wirtschaftsfaktor. Die Nanomedizintechnik kann ihr kreatives Potenzial nur in einem therapieintensiven Zusammenhang entfalten. In dieser Hinsicht gleichen sich stärker individualisierte Diagnostik, die vom Patienten selbst dosierte Verabreichung von Medikamenten, oder etwa eine sehr viel besser im Körper integrierte, intelligente und sensible Prothetik: Patienten, Physio-

therapeuten, Psychologen, Ärzte müssen zusammenarbeiten, um die neuen technischen Möglichkeiten in jedem Einzelfall wirklich verfügbar zu machen. Rahmenbedingung für die fruchtbare Entwicklung der Nanomedizintechnik ist somit ein klares Verständnis des gesellschaftlichen Nutzens, des Kosten- und Wirtschaftsfaktors Nanotechnologie in einem europäischen Wirtschaftsmodell. Die medizinisch begrüßenswerte Entwicklung der „künstlichen Hand“ wird dort vermutlich scheitern, wo sie entweder zu Kostenersparnis im Gesundheitswesen oder gar zu marktwirtschaftlich ertragreichen Massenkonsumgütern führen soll.

Auch die medizinische Praxis wird erleichtert, wenn sie aus der geradezu bedrohlichen Verstrickung der verschiedenen Effizienzversprechen befreit wird. Bedrohlich daran ist die implizite Behauptung, dass diese Nanomedizintechnik so oder so kommt, dass sich dadurch alles ändern wird und die medizinische Praxis sich nurmehr auf diese Veränderungen einstellen muss. Hier wird ein Innovationsschub heraufbeschworen, also die Entwicklung technischer Angebote („technology push“), denen wir uns nicht entziehen können. Im Zuge dieser Veränderungen soll beispielsweise die personalisierte Medizin gerade das persönliche Verhältnis zwischen Arzt und Patienten überflüssig machen, weitgehend auch das Krankenhaus als eine soziale Einrichtung, in der das Individuum Zuwendung und Wertschätzung erfährt. Dies bedeutet nicht nur, dass sich die angeblich kostensparende personalisierte Medizin eines mächtigen und letztlich kostengünstigen Placeboeffekts beraubt, insofern nämlich die ärztliche Betreuung an sich schon heilsam ist. Es bedeutet vor allem den Verzicht auf kreative Gestaltung der Nanomedizintechnik nach den Bedürfnissen von Ärzten und Patienten. Anstatt den stereotyp auf Effizienz orientierten Innovationsschub abzuwarten, sollte dem „technology push“ ein „demand pull“, dem Angebot eine spezifische Nachfrage entgegengesetzt werden. Natürlich lässt die Kombination von Nano- und Mikrotechnologie eine engere Vernetzung von Patientendaten erwarten, die es automatisierten Expertensystemen ermöglicht, gesundheitliche Krisen früher zu identifizieren und die richtige Hilfe zu rufen. Neben dieser relativ langweiligen, weil so leicht vorhersehbaren Entwicklung, lassen sich aber auch multifunktionale Systeme vorstellen, die den Patienten keine Entscheidungen abnehmen, sondern neue Möglichkeiten der Kommunikation und Eigenverantwortung an der Schnittstelle von Diät, „Fitness“, Gesundheit und ärztlicher Betreuung eröffnen. Letztere Systeme lassen sich aber nur entdecken und erfinden, wo die technische Entwicklung nicht schon nach dem Schema der Effizienz vorgezeichnet ist.

Drittens profitiert auch die medizinische Forschung, wenn sie nicht ganz in den Bann der Nanotechnologie gerät. Zu einseitig ist nämlich die reduktionistische Vorstellung, dass die Nanomedizintechnik das Problem von Krankheit und Gesundheit an der zellulären oder molekularen Wurzel packt. Dies ist nicht nur eine Frage der Weltanschauung. Zahlreiche wissenschaftliche Einsichten der letzten Jahrzehnte weisen Grenzen des Reduktionismus

nach. Stichworte hierfür sind evolutionäre Medizin und Anthropologie, zelluläre Umwelteinflüsse auf eine nicht allein von den Genen gesteuerte Proteinsynthese, von Kommunikation und Sprachgebrauch ausgehende Bewusstseinstheorien und natürlich alles, was die psycho-sozialen Ursachen von Krankheit und Gesundheit betrifft. Auch wer das heuristische Potenzial der Nanotechnologie fruchtbar machen will, darf diese anti-reduktionistischen Einsichten nicht verdrängen. Nanotechnische Forschung muss daher mit sozialwissenschaftlichen Ansätzen verbunden werden, wie auch die Suche nach nanomedizintechnischen Lösungen in einen Wettbewerb mit politischen Optionen oder der Einflussnahme auf kulturelle Verhaltensmuster treten sollte. Sicher lassen sich in den Körper integrierte Expertensysteme denken, die dem Problem der Fettleibigkeit Einhalt gebieten. Und doch will es uns scheinen, dass die Suche nach alternativen, politisch und kulturell vertretbaren Umgangsweisen mit diesem Problem noch längst nicht erschöpft sind.

Nur wenn sich Politik, Medizin und Forschung nicht auf ein gemeinsames Effizienzversprechen einschwören, sondern ihre ganz unterschiedlichen Probleme und Interessen in die Technikentwicklung einbringen, wird die Nanomedizintechnik ihr kreatives Potenzial entfalten. Was wir dann zu sehen bekommen, wird vielleicht eine weniger spektakuläre, dafür umso einfallreichere Nanotechnologie sein.

4. UNENDLICHES VERSPRECHEN

Nicht alle Verflechtungen werden in mühsamer Definitionsarbeit konstruiert oder durch rhetorische Verwirrungskunst suggeriert. Ein letztes Beispiel befördert Entflechtung dort, wo auf den ersten Blick gar keine Verflechtung vorliegt, da wir scheinbar mit einer bloßen Auflistung konfrontiert sind. Listen wie die folgende kommen in vielen Präsentationen der Nanotechnologie vor, wenn etwa belegt werden soll, was die Nanotechnologie zur Lösung unserer Umweltprobleme beitragen kann: 1) Durch molekulare Fabrikationsmethoden kann produziert werden, ohne Abfall zu erzeugen; 2) die zunehmende Miniaturisierung ermöglicht verteilte Netzwerke von Sensoren zur Umweltdiagnostik; 3) feinste Filter werden erstmals Öl und Wasser trennen können; 4) nanotechnologische Produktentwicklung kann von vornherein mit biokompatiblen Baustoffen arbeiten; 5) nanobiotechnologisch erzeugte künstliche Bakterien werden Giftstoffe abbauen; 6) der Energie- und Ressourcenverbrauch wird insgesamt reduziert; 7) Möglichkeiten der Gewinnung und Speicherung von Sonnenenergie lassen sich steigern; und-soweiter.

In der Auflistung tauchen einzelne Anwendungsperspektiven auf, deren Verflechtung spätestens durch das „Undsoweiter“ verdeutlicht wird. Die Bestandteile dieser Liste sollen jeweils nur das schier unbegrenzte Potenzial

der Nanotechnologie bezeugen. Um die einzelnen Punkte geht es auf der Liste gar nicht – wesentlich ist hingegen, dass all dies und viel mehr möglich sein wird.

Gerade an diesem Beispiel lässt sich nun besonders gut verdeutlichen, wie Entflechtung funktioniert und was sie bewirkt. Wir müssen nur das explizite und implizite „Undsowweiter“ streichen und die verbleibende Liste nicht als Zeugnis dafür lesen, was die Nanotechnologie alles kann. Wenn wir sie stattdessen als einen Katalog von Vorschlägen oder Maßnahmen lesen, findet die Entflechtung schon statt. Für jeden Vorschlag auf der Liste lässt sich nun fragen, wie aussichtsreich er ist, ob er zur nachhaltigen Lösung eines technisch lösungsbedürftigen Problems beiträgt, wie entschieden der vorgeschlagene Weg mit Investition von Geld und Arbeit beschritten werden soll.⁷

5. VERGEGENWÄRTIGUNG

Bei der Bewertung der Nanotechnologie stehen wir vor dem Dilemma, dass ethische Reflektion und öffentliche Diskussion nämlich doppelt gefährdet sind. Angesichts fantastischer Spekulationen über die nanotechnische Zukunft übersehen wir womöglich die ganz banalen, darum nicht unwichtigen gesellschaftlichen Herausforderungen hier und jetzt. Umgekehrt könnte die Bemühung, gesellschaftliche Fragen in der gegenwärtigen Situation realistisch zu verankern, den Blick verstellen für die radikalen Veränderungen in der (nicht so?) fernen Zukunft – somit könnten wir die Chance verpassen, uns darauf vorzubereiten.

Die hier vorgeschlagene Entflechtungsstrategie geht mit diesem Dilemma um, indem sie sich weigert, bloße unbegrenzte Potenziale zu berücksichtigen, andererseits aber auch nicht nur konkrete Forschungsergebnisse betrachtet. Stattdessen schaut sie sich die Wünsche und Programme an, die sich im öffentlichen Diskurs, in der spielerischen Fantasie von Visionären, aber auch in Projektausschreibungen und -anträgen ausdrücken. Damit bereitet die Entflechtungsstrategie das Problemfeld so zu, dass eine Einschätzung von Visionen möglich wird („vision assessment“, Grin und Grunwald 2000).

Armin Grunwald betont zu Recht, dass die Nanotechnologie eine Chiffre der Zukunft ist und als Folie dient, vor der wir Entwürfe unserer technischen Zukunft und des zukünftigen Menschen diskutieren (Grunwald

⁷ Hieraus ergibt sich auch eine praktische Umgangsweise mit typisch überblicksartigen Einführungsvorträgen in die Nanotechnologie. Nachdem im Laufe des Vortrags eine Vielzahl möglicher Anwendungen erwähnt wurde, könnte die Diskussion eine andere, interessante Wendung bekommen, wenn das Publikum nun aufgefordert wäre, sich darüber zu verständigen, was aus all diesen Angeboten mit welcher Dringlichkeit und in welcher Variante eigentlich wünschenswert ist.

2006 und in diesem Band). Das Entflechtungsprogramm interveniert in diese Diskussion und will ihre Vergegenwärtigung bewirken. Es geht schließlich nicht darum, uns eine Zukunft auszusuchen, sondern an gegebenen Problemen, Wertvorstellungen, Ressourcen und Kapazitäten eine Korrektur der Gegenwart zu versuchen. So sollte sich schließlich entscheiden, welche Beiträge hierzu von nanotechnologischen Forschungsprogrammen geleistet werden.

6. LITERATUR UND QUELLENHINWEISE

- Amato I (1999) Nanotechnology. Shaping the world atom by atom. National Science and Technology Council, Washington
- Bayrischer Rundfunk (2003) Das Nanoschnitzel – Vision und Wirklichkeit in der Nanotechnologie. Fernsehdokumentation
- Decker M, Fiedeler U, Fleischer T (2004) Ich sehe was, was Du nicht siehst ... zur Definition der Nanotechnologie. Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis 13 (2): 10–14
- Dupuy J-P (2005) The philosophical foundations of nanoethics. Arguments for a method. Vortrag bei der Nanoethics Tagung, University of South Carolina, 2.–5. März 2005
- Eigler D, Schweizer E (1990) Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. Nature 344: 524–526
- European Commission (2004) Communication from the commission. Towards a European strategy for nanotechnology. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg
- Feynman R (2001) Da unten ist jede Menge Platz. In: Es ist so einfach. Vom Vergnügen, Dinge zu entdecken. Piper, München, S 153–179
- Gaskell G, Ten Eyck T, Jackson J, Veltri G (2004) Public attitudes to nanotechnology in Europe and the United States. Nature Materials 3: 496
- Gee D, Greenberg M (2002) Asbestos: from ‚magic‘ to malevolent mineral. In: Harremoes P, Gee D, MacGarvin M, Stirling A, Keys J, Wynne B, Guedes Vaz S (Hrsg) The precautionary principle in the 20th century. Late Lessons from early warnings. Sage, London, S 49–63
- Grin J, Grunwald A (Hg) (2000) Vision assessment: shaping technology in 21st century society. Springer, Heidelberg, S 33–52
- Grunwald A (2006) Nanotechnologie als Chiffre der Zukunft. In: Nordmann A, Schummer J, Schwarz A (Hrsg) Nanotechnologien im Kontext. Akademische Verlagsgesellschaft, Berlin, S 49–80
- Malsch I (Hg) (2004) Benefits, risks, ethical, legal and social aspects of nanotechnology. 4th Nanofforum Report. nanofforum.org
- Meikle J (1995) American plastic. A cultural history. Rutgers University Press, New Brunswick
- Nordmann A (2006a) Unsichtbare Ursprünge. Herbert Gleiter und der Beitrag der Materialwissenschaft. In: Nordmann A, Schummer J, Schwarz A (Hrsg) Nanotechnologien im Kontext. Akademische Verlagsgesellschaft, Berlin, S 81–96
- Nordmann A (2006b) Personalisierte Medizin? Zum Versprechen der Nanomedizintechnik. Hessisches Ärzteblatt 67 (5): 331–333

- Nordmann A (2006c) Vor-Schrift – Signaturen der Visualisierungskunst. In: Krohn W (Hrsg) *Ästhetik in der Wissenschaft. Interdisziplinärer Diskurs über das Gestalten und Darstellen von Wissen*. Felix Meiner, Hamburg, S 117–129
- Phoenix C, Treder M (Hrsg) (2006) *More essays on nanotechnology implications*. Nanotechnology Perceptions 2, Nr 1b
- Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004) *Nanoscience and nanotechnologies. Opportunities and uncertainties*. ■■, London
- Schmid G, Decker M, Ernst H, Fuchs H, Grünwald W, Grunwald A, Hofmann H, Mayor M, Rathgeber W, Simon U, Wyrwa D (2003) *Small dimensions and material properties. A definition of nanotechnology*. Graue Reihe Nr 35. Europäische Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH
- Schmid G, Ernst H, Grünwald W, Grunwald A, Hofmann H, Janich P, Krug H, Mayor M, Rathgeber W, Simon B, Vogel V, Wyrwa D (2006) *Nanotechnology – perspectives and assessment*. Springer, Berlin Heidelberg

