HEINRICH BÖLL STIFTUNG
GRÜNE AKADEMIE

MENSCHENRECHTSZENTRUM
der Universität Potsdam

14. November 2007, Berlin, Galerie der Heinrich-Böll-Stiftung, 19h

11. »Grenzgänge«

Wir sind die Roboter.
Nanotechnologische Expeditionen an die Mensch-Maschine-Schnittstelle

Vortrag von Dr. Johann Ach

Wie andere Technologien auch eröffnen die Nanotechnologie und die Nanobiotechnologie nicht nur neue Handlungsoptionen und Anwendungsmöglichkeiten; sie werfen gleichzeitig auch neue philosophische und ethische Fragen auf. Um diese Fragen wird es im Folgenden vor allem gehen. Im ersten Teil meines Vortrags werde ich die beiden Fragen: „Was ist Nanotechnologie?“ und: „Was ist Nanomedizin?“ stellen. Daran anschließend werde ich einige Anmerkungen zu ethischen Fragen im Zusammenhang der Nanomedizin machen. Im dritten und letzten Teil werde ich die Frage stellen, ob bzw. welche neuen ethischen Fragen die Nanotechnologie aufwirft. Dabei werde ich dann auch auf das eigentliche Thema des Abends, also Mensch-Maschine-Schnittstellen und deren mögliche Folgen, eingehen.

1.

Was ist Nanotechnologie? Dies ist eine nicht leicht zu beantwortende Frage, denn es gibt – und das ist in vielfacher Hinsicht unbefriedigend – keine allgemein akzeptierte Definition von Nanotechnologie. Es gibt aber mindestens drei Versuche, Nanotechnologie zu definieren: Erstens im Hinblick auf die Größe der Partikel bzw. der Strukturen, mit denen wir es zu tun haben. Hier wird Nanotechnologie definiert als eine Technologie, die sich mit Strukturen befasst, die in mindestens einer Dimension unterhalb von 100 Nanometern liegen. Ein Nanometer entspricht dem Milliardstel Teil eines Meters, d.h. 10^{-9} Meter. Zum Vergleich: Ein menschliches Haar hat eine Dicke von etwa 20.000 bis 50.000 Nanometern.

Ein zweiter Versuch, Nanotechnologie zu definieren, stellt auf die mit ihr verbundenen neuen Möglichkeiten ab, insbesondere auf den Umstand, dass Materialien im nanoskaligen Bereich zum Teil vollständig neue Eigenschaften aufweisen.

Eine dritte Möglichkeit, Nanotechnologie zu definieren, stellt das Zusammentreffen von unterschiedlichsten Technologien ins Zentrum. Die Möglichkeit, Eigenschaften von nanoskaligen Strukturen zu beobachten, zu verstehen und zu kontrollieren, führt zu – und ist ihrerseits bedingt durch – Synergien zwischen Wissenschaften wie der Physik, der Chemie, der Biologie oder der Informationstechnik etc. und ihren Gegenstandsbereichen, die früher getrennt waren.

Die britische Royal Society und die Royal Academy of Engineering definieren, um zumindest ein Beispiel zu geben, Naotechnologien wie folgt: „Nano technologies are the design, characterisation, production and application of structures, devices and systems by controlling shape and seize at the Nanometer-scale."

Im Hinblick auf die Frage, was Nanomedizin ist, mache ich es mir noch einfacher: Nanomedizin ist die Anwendung der Nanotechnologie in der Medizin. – Das ist die einfachste Definition, die man überhaupt haben kann. Ich werde aber anhand einiger Beispiele gleich noch etwas erläutern, was man sich unter Nanomedizin vorstellen muss.

Vielleicht sollte ich nachtragen, dass die Nanotechnologien so genannten ‚enabeling technologies' sind. Dies ist auch einer der Gründe, warum es so schwer ist, Nanotechnologie zu definieren. ‚Ermöglichende Technologie' heißt, dass mit Hilfe der Nanotechnologie technische Anwendungen in anderen Bereichen außerhalb der Nanotechnologie – etwa der Elektronik – ermöglicht werden, die bis dato in diesem Bereich nicht möglich gewesen waren. Das heißt, Nanotechnologie unterstützt, ermöglicht Anwendungen in anderen Bereichen.

Die Anwendungsbereiche der Nanotechnologie reichen von Computerfestplatten, Sonnenschutzmitteln, Autoreifen und neuen Katalysatoren über selbstreinigende Oberflächen, biokompatible Implantate und neue Bio-Sensoren bis hin zum Quanten-Computing oder zur Gehirn-Prothetik – um nur einige Beispiele zu nennen. In allen diesen Bereichen haben wir es mit Nanotechnologie zu tun; und nicht zuletzt deshalb sind viele der Auffassung, dass Nanotechnologie tatsächlich *die* Schlüsseltechnologie unseres Jahrhunderts ist.

Nanotechnologie ist nicht, wie manche vielleicht meinen, eine Technologie, mit der wir in der Zukunft rechnen müssen. Nanotechnologie umgibt uns schon heute im Alltag. Nanotechnologie ist an vielen Produkten beteiligt, die als Massenprodukte auf dem Markt sind. Es gibt – nach unterschiedlichen Schätzungen – bis zu 500 Produkte, die auf dem Markt verkäuflich sind und etwas mit Nanotechnologie zu tun haben. Das ist zum Beispiel bei Autoreifen der Fall, aber auch bei vielen Sonnenschutzmitteln. Das wirft, gerade wenn es um kosmetische Produkte geht, eine ganze Reihe von Fragen auf.

2.

Was ist Nanomedizin? Ich beschränke mich im Folgenden auf Nanomedizin – zum einen, weil ich mich dort am besten auskenne, zum anderen aber auch, weil ich denke, dass dies einer der Bereich ist, in dem die Nanotechnologie in der Zukunft eine große Rolle spielen wird, und zum Dritten, weil viele Fragen, die sich im Hinblick auf die Nanomedizin stellen lassen, natürlich auch im Hinblick auf die Nanotechnologien und die Nanobiotechnologien insgesamt gestellt werden können.

Wenn ich es richtig sehe, sind es vor allem drei Eigenschaften der Nanotechnologie oder der Nanobiotechnologie, die sie für die Medizin, aber nicht nur für die Medizin, besonders interessant machen: Erstens die Möglichkeit der Miniaturisierung von Gegenständen und Geräten, zweitens die durch Nanotechnologie ermöglichte Interaktion zwischen technischen und biologischen Systemen und drittens der Umstand, dass Materialien ihre Eigenschaften im nanoskaligen Bereich zum Teil dramatisch verändern.

Lassen Sie mich an ein paar Beispielen andeuten, worum es in der Nanomedizin geht. Nanotechnologie in der Medizin heißt zunächst einmal, dass man Nanoanalytik betreiben kann, das heißt, dass es neue Systeme, neue Techniken gibt, mit denen man Analyse betreiben kann. Denken kann man dabei an das Rastertunnelmikroskop, das einerseits die

Nanotechnologie erst möglich gemacht hat, andererseits aber natürlich auch ein wichtiges Analyseinstrument ist.

Nanotechnologie wird in der Nanomedizin darüber hinaus insbesondere in der Diagnostik eine große Rolle spielen: Ein Beispiel dafür sind neue In-vitro-Systeme, beispielsweise sog. Lap-on-a-chip-Technologien, also Diagnoseinstrumente, die auf kleine Chips aufgebracht sind und dort eine Hochdurchsatzdiagnostik ebenso ermöglichen wie eine Multiparameterdiagnostik, so dass man in sehr kurzer Zeit eine sehr große Anzahl von Analysen durchführen kann. Gearbeitet wird auch an In-vivo-Systemen, also beispielsweise bildgebenden Messverfahren oder nanogestützten Implantate, die in den menschlichen Körper eingebracht werden. Nanosensoren sollen es möglich machen, das, was im Körper, was in einem Organ bzw. in einer Zelle geschieht, genauer nachzuweisen und zu untersuchen.

Auch im Bereich der Therapie wird die Nanomedizin eine Rolle spielen. Gearbeitet wird zum Beispiel an miniaturisierten Instrumenten für minimalinvasive Eingruffe. Ein weiteres Beispiel für die Anwendung nanobasierter Methoden bzw. den Einsatz von Nanopartikeln in der Medizin sind neue drug-delivery- und drug-targeting-Systeme zum kontrollierten und zielgenauen Einsatz von Medikamenten. Nanopartikel wie Dendrimere oder Polymerkapseln werden hierbei als Fähren für Wirkstoffe gebraucht, die ihre Fracht zielgenau an den Ort im Körper bringen, an dem sie benötigt werden, und diese erst freisetzen, wenn sie auf bestimmte Auslösermoleküle treffen. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass der Wirkstoff auf seinem Weg durch den Körper abgebaut wird bzw. eine Immunreaktion auslöst. Die zielgenaue Medikamentierung erlaubt zudem eine bessere Dosisanpassung als bei herkömmlichen Verfahren und damit ein geringeres Maß an unerwünschten Wirkungen („Nebenwirkungen“), weil der Wirkstoff nur am konkreten Zielort im menschlichen Körper freigesetzt wird. Die durch die Nutzung nanotechnologischer Verfahren eröffneten Möglichkeiten der Miniaturisierung und der Herstellung neuartiger, nanostrukturierter Oberflächen werden möglicherweise auch für die Entwicklung und den Einsatz von Implantaten und Prothesen eine wichtige Rolle spielen. Biokompatible Implantate, die in den menschlichen Körper eingeführt werden, werden vom Immunsystem nicht mehr als fremd erkannt, was dazu führt, dass Abstoßungsreaktionen ausbleiben. Möglicherweise wird es auch im Bereich der regenerativen Medizin Fortschritte geben. Und man wird nicht nur auf neue Weise therapeutisch intervenieren können, sondern das, was man tut, auch besser kontrollieren können. Neue, nano-basierte Follow-up-Monitoring-Systeme werden es ermöglichen, die Wirkung, die ein Medikament im menschlichen Körper hat, sofort mit Hilfe bildgebender Verfahren zu kontrollieren.

Nanotechnologie wird schließlich auch im Hinblick auf die Entwicklung neuer Medikamente eine nicht geringe Rolle spielen.

Das heißt, wir haben im Grunde die ganze Kette von der Analytik über die Diagnostik, die Therapie und das follow-up bis hin zur Medikamentenentwicklung.

An zwei oder drei Beispielen will ich das noch etwas mehr konkretisieren. Interessant wäre beispielsweise ein Verfahren, das sich Theranostics nennt. Hier hofft man, Diagnostik und Therapie in einem System zusammenführen zu können. Dazu muss man ein Gerät oder eine Plattform entwickeln, auf der sowohl diagnostische als auch therapeutische Maßnahmen durchgeführt werden können, die nach dem Grundsatz „find, fight and follow“ all das machen, was man sich von Medikamenten wünschen würden. Sie finden selbstständig den Ort, an dem der Wirkstoff gebraucht wird. Sie bekämpfen die Ursache der Erkrankung und sie ermöglichen es, die Wirkung der Intervention mit Hilfe bildgebender Verfahren sichtbar zu machen, so dass man direkt verfolgen kann, ob sie erfolgreich war.

Hier in Berlin wird an der so genannten Magnetflüssigkeitshyperthermie gearbeitet, die eines Tages eine Ergänzung zu herkömmlichen Krebstherapien darstellen könnte. Es geht

dabei um ein Verfahren, bei dem Eisenpartikel an Tumorzellen heranführt und dann einem Magnetfeld ausgesetzt werden, so dass die Eisenpartikelchen in Schwingung geraten und Hitze erzeugen. Wenn alles gut geht, entwickeln die Tumorzellen dabei eine Art von Fieber und sterben ab. Das wäre, wenn es funktioniert, natürlich ein sehr interessantes Verfahren. Im Moment wird es, soweit ich weiß, an einer einzigen Krebsart ausprobiert. Aber die Ergebnisse sind so ermutigend, dass man inzwischen in Phase-3-Studien arbeitet.

Schließlich werden Neuroprothesen und Implantate entwickelt werden, insbesondere zum Beispiel Cochlea- und Retina-Implantate. Das heißt nicht, dass die Blinden wieder sehen und die Tauben wieder hören werden; soweit wird es sicher nicht gehen, auch wenn manche das verkünden. Aber immerhin erlauben diese Systeme eine gewisse Wiederherstellung einer bestimmten Seh- oder Hörfunktion, zumindest bei bestimmten Erkrankungen.

Soweit mein kurzer Überblick über das, was uns möglicherweise erwartet. Ich komme damit jetzt zu einigen ethischen Überlegungen. Meine erste, wenig originelle, These ist, dass die Erfolge der Nanotechnologie bzw. der Nanomedizin nur realisierbar sind, wenn diese Technologien innerhalb bestimmter ethischer, gesellschaftlicher und rechtlicher Rahmenbedingungen entwickelt werden. Schon aus diesem Grund ist es außerordentlich wichtig, sich mit ethischen bzw. „ELSA-Fragen“ der Nanotechnologie rechtzeitig auseinander zu setzen. ELSA steht dabei für ethical, legal, social aspects. Und das gilt im Übrigen insbesondere auch für diejenigen, die selbst Nanotechnologie betreiben wollen,

Auf der anderen Seite müssen wir feststellen, dass wir mit der ethischen Auseinandersetzung über die Folgen der Nanotechnologie und Nanomedizin derzeit erst am Anfang stehen. Das hat aus meiner Sicht zwei Gründe: Zum einen ist der Erfahrungszeitraum mit dieser Technologie noch relativ kurz, wir sind einfach noch nicht so weit. Zum andern ist es so, dass wir in vielen Bereichen noch weitgehend auf Vorhersagen und Spekulationen angewiesen sind. Das macht die ethische Debatte außerordentlich schwierig. Das werden wir auch heute sicher noch hören. Es ist in der Nanotechnologie mitunter sehr schwer zu unterscheiden, wann man es tatsächlich mit ‚science’ und wann dagegen eigentlich mit ‚science fiction’ zu tun hat.

Was die ethische Bewertung nano-basierter Anwendungen angeht, haben wir es zunächst einmal mit der Frage nach der Sicherheit der Verfahren und der Produkte zu tun. Das ist eigentlich immer so, nicht nur im medizinischen Kontext, da aber vielleicht ganz besonders. Zwei Dinge spielen hier eine Rolle: Zum einen die schiere Größendimension der Partikel oder der Strukturen, über die wir sprechen. Zum anderen neue Materialeigenschaften. Es sind also genau jene Eigenschaften, die man sich eigentlich wünscht, die gleichzeitig auch Probleme zur Folge haben können. Einerseits will man ja, dass Nanopartikel, wenn man sie in der Medizin einsetz, beispielsweise Zellmembranen durchqueren können. Andererseits führt dies dazu, dass sie dann möglicherweise eben auch andere Schranken, zum Beispiel die Bluthirnschranke, passieren können. Was dies bedeutet, ist vielfach noch ungeklärt. Bislang weiß man darüber einfach zu wenig.

Wir werden mit einer anwachsenden Kluft zwischen therapeutischen und diagnostischen Möglichkeiten rechnen müssen. Das ist ein Problem, das aus der Gendebatte schon lange bekannt ist, das sich allerdings verstärken wird, wenn zunehmend Technologien entwickelt werden, die eine sehr effektive präsymptomatische Multiparameterdiagnostik erlauben. Das bedeutet, dass es sehr viel mehr an diagnostischem Wissen geben wird. Das bedeutet aber eben gerade nicht, dass entsprechend auch therapeutische Angebote bereits zur Verfügung stünden – mit all den Problemen, die daran hängen.

Nanotechnologie oder Nanomedizin wird auch eine Individualisierung von Diagnose und Therapie ermöglichen; auch das ist etwas, was aus der Debatte über die Pharmakogenetik bereits bekannt ist. Individualisierte Therapie heißt aber immer auch, dass die Gefahr be-

steht, dass Patientinnen und Patienten mit einer eher seltenen Genvariante das Pech haben könnten, von den Segnungen der Medikamentenentwicklung ausgeschlossen zu bleiben. Auch das ist ein Problem, mit dem man rechnen muss.

Neue Fragen werden sich auch im Hinblick auf den Datenschutz und den Schutz der Privatsphäre stellen, wenn sehr viel mehr Daten generiert werden. Daten zu generieren bedeutet immer, dass man Probleme mit dem Datenschutz hat und natürlich erst recht dann, wenn es um sensible gesundheitsbezogene Daten geht. Im vorliegenden Zusammenhang muss man dabei vor allem an die verschiedenen Verfahren nanosensorischer In-vivo-Diagnosesysteme denken, oder an das, was man condition monitoring nennt, also das ständige Überprüfen von Körperfunktionen. Das bedeutet, dass eine ganze Menge an Gesundheitsdaten produziert wird, bei denen man überlegen muss, wie sie geschützt werden können.

Fragen des Datenschutzes und des Schutzes der Privatsphäre gibt es natürlich auch außerhalb des medizinischen Kontextes. So werden Implantate es zum Beispiel ermöglichen, zu kontrollieren, wo eine Person sich aufhält. Für Tiere gibt es das bereits. ‚Digital angel' ist ein Verfahren, mit Hilfe dessen man satellitengesteuert kontrollieren kann, wo sich mein Hund bzw. wo sich meine Katze aufhält. Dasselbe Verfahren kann man grundsätzlich natürlich aber auch beim Menschen anwenden. Eine vergleichsweise harmlosere Variante eines Implantats wird, wie ich mir habe berichten lassen, in Clubs genutzt, wo man sich einen Chip unter die Haut implantieren lassen kann, der dazu dient, dass man erstens keinen Ausweis mitführen, und zweitens kein Geld mehr in die Bar mitbringen muss, weil man alle erforderlichen Informationen auf dem Implantat speichern und einfach am Scanner ablesen kann. Für viele, die solche Clubs aufsuchen, ist das offenbar interessant. Dass diese Technik gleichzeitig aber auch neue Probleme der Datenkontrolle und des Schutzes der Privatsphäre aufwirft, scheint mir offensichtlich.

Auch neue Gerechtigkeits-Probleme könnten sich einstellen, insbesondere Probleme im Hinblick auf eine selektive Zugangsgerechtigkeit. Das Stichwort lautet hier ‚nano devide'. Werden Schwellen- und Entwicklungsländer in gleicher Weise von den Segnungen der Nanotechnologie und der Nanomedizin profitieren wie die Indurtrienationen? Hier gibt es unterschiedliche Auffassungen. Auf der einen Seite wissen wir aus der Erfahrung mit anderen Technologien, dass es hier durchaus zu einer Ungleichverteilung kommen kann. Andererseits werden gerade auch in Schwellenländern neue Nanotechnologie-Initiativen aufgelegt. Das könnte eher gegen die Gefahr eines ‚nano devide' sprechen.

Eine wichtige Rolle spielen in diesem Zusammenhag auch intellectual property rights, insbesondere Patente auf nano-basierte Technologien oder Anwendungen. Hier stellen sich – insbesondere im Hinblick auf Nanopartikel – zwei Fragen, die wir aus der Gentechnologie-Diskussion bereits kennen: Erstens die Frage nach der grundsätzlichen Patentierbarkeit dieser Strukturen. Kann man Strukturen, die im Grunde nur miniaturisiert sind, ansonsten aber in der Natur vorkommen, überhaupt patentieren? Die zweite Frage ist die Frage nach dem Zugang. Werden Patente auf Nano-Technologien oder Nano-Applikationen zu neuen Formen der Abhängigkeit von Patentinhabern bzw. zu hohen Kosten für die Patentnutzung führen, die die weitere Forschung und die Verbreitung von Erfindungen einschränken? So wird zum Beispiel diskutiert, ob Entwicklungs- und Schwellenländer von der Patentnutzung de facto ausgeschlossen bleiben könnten. Beide Fragen scheinen mir im Hinblick auf die Nanotechnologie noch nicht ausreichend diskutiert, geschweige denn gelöst zu sein.

Diskutiert wird auch, ob die Nanotechnologie eine Veränderung unseres Verständnisses von Krankheit und Gesundheit zur Folge haben wird. Werden wir unseren menschlichen Körper als eine Art komplexer Nanomaschine verstehen? Manche werden diese Formulieren vielleicht für überspitzt halten. Ganz abwegig ist sie aber nicht. Wenn man Nanotech-

nologen zuhört, wird man feststellen, dass manche tatsächlich dazu neigen, Zellen als kleine Maschine zu beschreiben, mit einem eigenen kleinen Kraftwerk zur Energiegewinnung, einem Motor und so weiter. Hier deutet sich eine problematische Form eines Reduktionismus zumindest an.

Schließlich wird man auch über die Auswirkungen der Nanotechnologie und der Nanomedizin auf das menschliches Selbstverständnis diskutieren müssen. Dabei geht es um Fragen insbesondere nach der personalen bzw. nach der persönlichen Identität und nach der Authentizität von Menschen, etwa im Hinblick auf die Integration von Neuroprothesen und Neuroimplantaten, aber beispielsweise auch im Hinblick auf verschiedene invasive Verfahren in der Gehirnchirurgie. Denken Sie zum Beispiel an die Tiefenhirnstimulation, die an sich keine Nanotechnologie darstellt. Bei der Herstellung der Elektroden macht man sich inzwischen aber nanotechnologische Verfahren zunutze, um bestimmte Probleme, die mit der Tiefenhirnstimulation ansonsten verbunden sind, auszuschalten. Man weiß, dass solche Eingriffe auch Spuren hinterlassen, was den Charakter der betroffenen Personen angeht, die nach einem solchen Eingriff zum Beispiel Depressionen entwickeln können oder umgekehrt plötzlich sehr euphorisch sein können, obwohl sie vorher depressive Menschen waren. Diese Beobachtung trägt für die Frage, ob man solche Eingriffe durchführen darf, zunächst noch gar nichts aus; aber man muss um die Möglichkeit Folgewirkungen zumindest wissen und sie in Rechnung stellen und fragen, welche Arten von Nebenwirkungen man eigentlich zu akzeptieren bereit ist bzw. ob es sich dabei wirklich nur um *Neben*wirkungen handelt.

3.

Wenn ich das Panorama ethischer Fragen bis hierhin aufgemacht habe, dann wird Ihnen aufgefallen sein, dass ich mehrfach darauf hingewiesen habe, dass wir viele der angesprochenen Fragen aus der Debatte um die Gentechnik oder aus der Debatte um die Pharmakogenetik und so weiter bereits kennen. Die Frage ist also: Welche neuen ethischen Fragen werfen Nanotechnologie oder Nanomedizin auf?

Meine Antwort ist: Vergleichsweise wenig. Das, was ich bis hierhin vorgetragen habe, sind Fragen, die wir tatsächlich aus anderen Debatten bereits kennen. Aber: Selbst wenn wir diese Fragen aus anderen Debatten und Bereichen kennen, heißt das natürlich nicht, dass wir auch die Antworten bereits kennen würden. Das ist eine Täuschung, der man nicht aufsitzen sollte. Ich glaube ohnehin, dass die Fragen ‚Was ist eigentlich neu an der Nanotechnologie?' oder ‚Was ist eigentlich neu an der Nanoethik?' falsch gestellt sind. Die Frage muss lauten: Gibt es ein Problem? Und nicht: Gibt es ein neues Problem?

Etwas ist freilich trotzdem neu. Wenn ich es richtig sehe, dann zeichnet sich in der Medizin etwas ab, was man ‚converging technologies in der Medizin' nennen könnte. Was wir derzeit erleben, ist, wenn meine Beobachtungen richtig ist, tatsächlich so etwas wie eine Revolution in der Medizin. Wir erleben gegenwärtig eine Entwicklung in der Medizin, die sich mit den Begriffen ‚Beschleunigung', ‚Individualisierung', ‚Automatisierung', ‚Präventionsorientierung' etc. charakterisieren lässt. Diese Entwicklung wird ausgelöst durch ein ganzes Ensemble unterschiedlicher Technologien und Methoden – von der Pharmakogenetik über die Nanomedizin und die Telemedizin bis hin zu eHealth und anderen Entwicklungen. Diese Technologien werden zu einer Änderung im Arzt-Patienten-Verhältnis führen. Sie werden dazu führen, dass der individuelle Patient sehr viel mehr Möglichkeiten haben wird, autonom zu entscheiden, und der Arzt als *gate keeper* für medizinische Intervention möglicherweise nicht mehr erforderlich, jedenfalls nicht in gleicher Weise erfor-

derlich sein wird. Wie man diese Entwicklung bewertet, ist eine andere Frage. Das ist, scheit mir, ganz ambivalent. Auf der einen Seite kann diese Entwicklung dem Autonomiebestreben der Betroffenen durchaus entgegenkommen. Auf der anderen Seite ist damit natürlich eine ganze Reihe von Problemen verbunden. Zum Beispiel im Hinblick auf den informed consent. Absehbar werden sich diese Entwicklungen auch nicht nur auf das Arzt-Patienten-Verhältnis beschränken. Möglicherweise werden wir tatsächlich ein neues Verständnis von Medizin überhaupt entwickeln. Insofern trägt die Nanomedizin, im Chor mit anderen Technologien in der Medizin, die wir gegenwärtig erleben, tatsächlich zu einer dramatischen Veränderung dessen bei, wie wir als Medizin kennen und verstehen.

Lassen Sie mich mit drei etwas allgemeinern Bemerkungen schließen:

Erstens: Wir brauchen, das ist meine erste Behauptung, möglicherweise keine neue Nanoethik im Sine einer neuen Bindestrich-Ethik – obwohl ich, anders als andere, kein Problem damit hätte, dieses Etikett zu nutzen. Was wir aber ganz sicher brauchen, ist eine ethische Reflexion der Nanotechnologie und der Nanomedizin. Die wenigen Anmerkungen, die ich gemacht habe, sollten das unterstreichen.

Zweitens: Die Visionen, die gegenwärtig mit der Nanotechnologie und der Nanomedizin verbunden sind und diskutiert werden, prägen die künftige Entwicklung der Nanotechnologie und der Nanomedizin. Deswegen ist es aus meiner Sicht so wichtig, diese Visionen ernst nehmen – auch wenn sie sehr weitreichend zu sein scheinen und sehr futuristisch daher kommen. Es gibt in Deutschland eine Tendenz, alles das, was NBIC oder Transhumanismus heißt, in Bausch und Bogen einfach abzulehnen und zu sagen: Erstens sind diese Entwicklungen weit weg, zweitens sind die Transhumanisten Spinner, drittens sind ihre Vorstellungen quasi-religiös – damit muss man sich nicht auseinandersetzen. Diese Auffassung halte ich für grundlegend falsch. Nicht nur, weil manches manchmal doch schneller kommt, als man denkt; sondern vor allen Dingen deshalb, weil es vermutlich genau diese Visionen sind, die die zukünftige Entwicklung dieser Technologie prägen werden, wenn man nicht etwas anderes dagegenstellt. Das heißt, wir brauchen nicht nur ein klassisches ‚technology assessment', sondern das, was manche inzwischen ‚vision assessment' nennen. Herr Grunwald kann dazu sicher mehr sagen.

Drittens: Ich habe gesagt, dass sich im Hinblick auf die Nanotechnologie kaum wirklich neue ethische Fragen stellen. Das ist nur zum Teil richtig. Wenn ich richtig sehe, dann gibt es – und das ist quasi die Überleitung zum nächsten Vortrag von Herrn Grunwald – zumindest zwei Bereiche, für die es tatsächlich anders ist: Zum einen erleben wir derzeit eine Entwicklung, die dazu führt, dass die Unterscheidung zwischen lebenden und nichtlebenden Entitäten verschwimmt; so dass wir möglicherweise eines Tages nicht mehr klar unterscheiden können, ob wir es bei einer Entität mit einem lebenden Organismus oder mit einem unbelebtem Artefakt zu tun haben. Entwicklungen in der Nanobiotechnologie tragen dazu ebenso bei wie Fortschritte in der synthetischen Biologie, wo man versucht, die kleinsten Bausteine des Lebens zu identifizieren, um sie ggf. neu zusammenzusetzen und zu synthetisieren. Die Grenze zwischen lebenden und nicht-lebenden Entitäten droht hier zu verschwimmen. Und sie wird vielleicht auch schwierig zu ziehen sein, wenn wir im Sinne der Leitfrage des heutigen Abends ‚Sind wir alle Roboter?' über weiterreichendere Prothesen und Implantate nachdenken, als wir sie derzeit haben. Das ist die eine Frage, von der ich glaube, dass sie auch philosophisch interessant ist. Zum anderen müssen wir über die Möglichkeit des *human enhancement* sprechen, also einer ‚Verbesserung' menschlicher Leistungsmöglichkeiten in vielerlei Hinsicht. Auch hier wird die Nanotechnologie eine Rolle spielen. Vielleicht nicht die entscheidende Rolle, sicher nicht die alleinige Rolle. Aber im Chor mit anderen Technologien spielt die Nanotechnologie hier die Rolle einer, wie ich anfangs gesagt habe, ‚enabling technology'. Auch diesbezüglich sollte man sich vor vorschnellen Urteilen hüten. Manche der angesprochenen ‚Verbesserungen' sind nicht

nur verlockend; es scheint auch keineswegs ausgeschlossen, dass sie auch einer genaueren Untersuchung und kritischen Prüfung standhalten. Aber das ist ein Thema für einen anderen Vortrag.