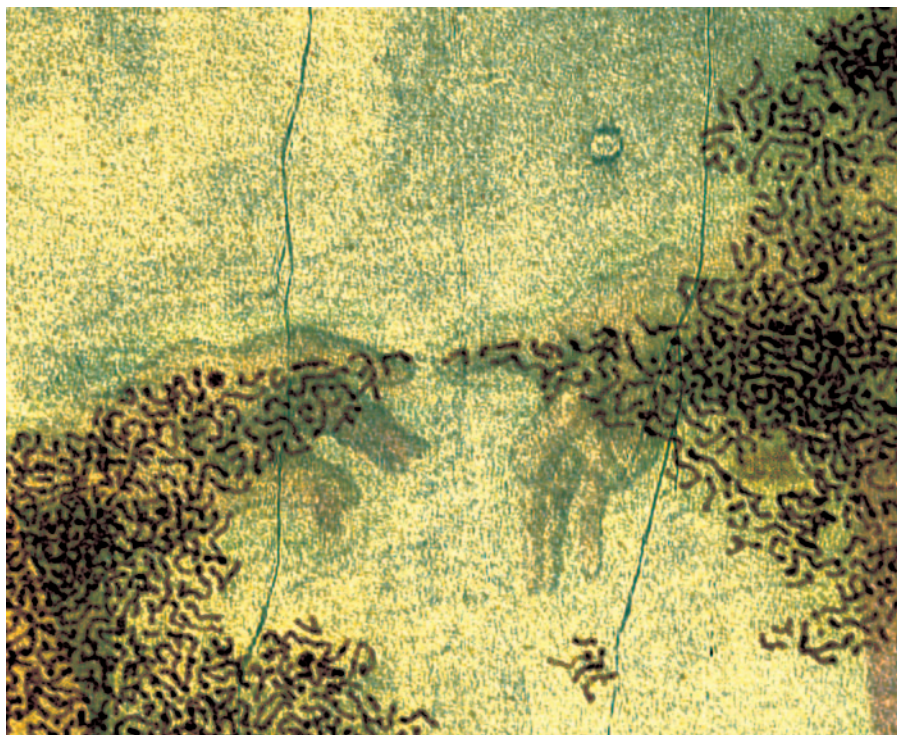


akzente

Texte - Materialien - Impulse



Ethische Aspekte der Nanotechnologie

Eine Stellungnahme der Arbeitsgemeinschaft
der Umweltbeauftragten in der EKD (AGU)

14

Evangelische Kirche von Westfalen



Ethische Aspekte der Nanotechnologie

Akzente
Texte – Materialien – Impulse

Herausgegeben vom
Institut für Kirche und Gesellschaft

Ethische Aspekte der Nanotechnologie

Eine Stellungnahme
der Arbeitsgemeinschaft der Umweltbeauftragten in der EKD (AGU)

von
Dr. Gudrun Kordecki,
Institut für Kirche und Gesellschaft der Evangelischen Kirche von Westfalen,
Iserlohn

unter Mitarbeit von
Dr. Renate Knüppel,
Kirchenamt der Evangelischen Kirche in Deutschland (EKD),
Hannover

und
Dr. Hubert Meisinger,
Zentrum Gesellschaftliche Verantwortung der Evangelischen Kirche in Hessen und Nassau,
Mainz

Mai 2007

Das Titelbild „aN ANgelO“ wurde gestaltet von Daniela Fenske, Diplom-Chemikerin und wissenschaftliche Angestellte in der Physikalischen Chemie 1 der Universität Oldenburg. Es handelt sich um eine Aufnahme mit einem Transmissionselektronen-Mikroskop, die in einer Kooperationsarbeit der AG Prof. Katharina Al-Shamery (Physikalische Chemie 1) und der Juniorprofessorin Joanna Kolny-Olesiak (Physik – Energie- und Halbleiterforschung) an der Universität Oldenburg entstanden ist. Die Motivation zur Anfertigung eines solchen Bildes im künstlerischen Zusammenhang gab der Nano & Art Preis 2005, ausgeschrieben von der Degussa AG, bei dem das Bild unter den Top 20 ausgezeichnet wurde.

Bei den gezeigten Partikeln handelt es sich um Platin-Nanopartikel. „aN ANgelO“ zeigt einen ca. 285 x 318 Nanometer großen Bildausschnitt. Die einzelnen Platin-Nanodrähte sind ca. 2,5 x 14 Nanometer groß, wobei ein Nanometer einem Milliardstel eines Meters ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) oder ca. einem Millionstel des Durchmessers eines Haares entspricht.

Die gezeigten Partikel sind aus chemischer Synthese entstanden. Damit besteht u. a. die Möglichkeit, Struktur und Größe (vor allem die einheitliche Verteilung) solcher Nanopartikel gezielt zu modifizieren.

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dbb.de> abrufbar.

Akzente. Texte – Materialien – Impulse, Nr. 14
Institut für Kirche und Gesellschaft, Iserlohn 2007
ISBN-10: 3-939-115-06-1
ISBN-13: 978-3-939-115-06-9

Alle Rechte für diese Reihe liegen beim Institut für Kirche und Gesellschaft.
Alle Rechte für den Text liegen bei den Autoren.

Satz und Layout: Lars Klinnert
Printed in Germany

Bezugsadresse:
Institut für Kirche und Gesellschaft
Kirsten Simon
Berliner Platz 12
D-58638 Iserlohn
Telefon: 0 23 71 / 352 - 152
Telefax: 0 23 71 / 352 - 129
E-Mail: k.simon@kircheundgesellschaft.de

Inhalt

1	Einführung	7
2	Was ist Nanotechnologie?	7
3	Anwendungsbereiche	8
4	Wirtschaftliches Potential	9
5	Mögliche Risiken und Risikoabschätzungsaktivitäten	14
5.1	Gesundheitliche Aspekte.....	15
5.1.1	Aufnahme durch Inhalation.....	15
5.1.2	Aufnahme durch die Haut.....	16
5.1.3	Aufnahme über den Verdauungstrakt	16
5.1.4	Einsatz in der Medizin (Nanomedizin)	17
5.2	Umweltaspekte.....	18
5.3	Risikoforschung	19
5.4	Gesetzliche Regulation der Nanotechnologie	20
6	Anthropologische und ethische Aspekte.....	22
6.1	Überlegungen zu einem christlichen Menschenbild.....	23
6.2	Ethische Aspekte der Nanotechnologie.....	24
6.2.1	Abschätzung der Folgen.....	24
6.2.2	Bewertung der Risiken.....	25
6.2.3	Abwägung von Kosten und Nutzen.....	26
6.2.4	Einbeziehung von Alternativen.....	27
6.2.5	Gerechtigkeit	27
6.3	Ethische Aspekte der Nanomedizin.....	28
6.4	Ethische Aspekte der Nanobiotechnologie.....	29
7	Schlusswort.....	32

1 Einführung

Mit dem Schlagwort „Nanotechnologie“ wird eine Vielzahl von Anwendungen in wiederum einer Vielzahl von Bereichen unserer technisierten Lebensumwelt bezeichnet. Der Einsatz der Nanotechnologie soll zu völlig neuen Problemlösungen führen, die Produktion, Nutzung und Entsorgung von Produkten verbessern werden. Die allgemein übereinstimmende Einschätzung besagt, dass es sich bei der Nanotechnologie um eine Querschnittstechnologie handle, die neue Impulse für vielfältige Anwendungsbereiche erbringen werde.

Wie bei jeder neuen Technologie stehen auch bei der Nanotechnologie hohe Erwartungen an die wirtschaftlichen Chancen und Potentiale im Vordergrund. Aber ebenso muss auch hier der Versuch gemacht werden, mögliche Risiken abzuschätzen und ausreichend Vorsorge im Blick auf denkbare Gesundheits- und Umweltgefährdungen zu betreiben.

In dieser Stellungnahme werden in erster Linie ethische Kriterien für eine Beurteilung der Nanotechnologie unter Berücksichtigung von Gesundheits- und Umweltaspekten entwickelt.

2 Was ist Nanotechnologie?

Eine weltweit gültige Definition, was eigentlich unter der Bezeichnung „Nanotechnologie“ zu verstehen ist, gibt es bisher nicht. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) veröffentlichte 2002 einen Bericht, in dem als Nanotechnologie die „Herstellung, Untersuchung und Anwendung von funktionalen Strukturen, deren Abmessungen im Bereich unter einhundert Nanometer liegen“¹, bezeichnet wurden. „Nanos“ ist das griechische Wort für „Zwerg“ und damit die Beschreibung von etwas sehr kleinem. In den Naturwissenschaften steht der Präfix „nano“ für einen Milliardstel Bruchteil, beispielsweise für einen Milliardstel Meter: 1 Nanometer = 10^{-9} m. Als Nanostrukturen bezeichnete Gebilde können einige bis mehrere hundert Atome oder Moleküle enthalten (Nanocluster oder Nanoteilchen). Sie können Drähte, Röhren oder Schichten ausbilden, die dann in mindestens einer Dimension der oben zitierten Definition des BMBF entsprechen.

Die Besonderheit dieser Nanostrukturen hängt unmittelbar mit der Dimension der Gebilde zusammen. Es geht nicht nur darum, immer kleinere Bauteile zu entwickeln, wie dies in der Computertechnologie bereits von Beginn an ein wichtiges Ziel war. Beim Vorstoß in die Nanowelt stellten die Wissenschaftler fest, dass sich die

¹ BMBF (Hg.), Nanotechnologie in Deutschland – Standortbestimmung. Bonn 2002

Materialeigenschaften beispielsweise von Metallen oder chemischen Verbindungen veränderten. Ein wesentlicher Grund hierfür liegt darin, dass Nanostrukturen im Verhältnis zu ihrer Gesamtgröße bzw. ihrem Volumen eine sehr große Oberfläche aufweisen. Hierdurch verändern sich Eigenschaften wie elektrische Leitfähigkeit, Magnetismus, Fluoreszenz, Reaktionsfähigkeit, Schmelzpunkt, Härte und Lichtbrechungseigenschaften.

Durch Energiezufuhr können Moleküle dazu angeregt werden, sich zu definierten Strukturen anzuordnen, deren Eigenschaften sich von Strukturen im Makrobereich unterscheiden können. Es wurden Kristalle und Oberflächenschichten aus Nanostrukturen entwickelt.

Der kanadische Technologiekritiker Pat Mooney beschrieb die Nanotechnologie mit den Worten: „Vieles von dem, was nach Science-Fiction-Roman klingt, ist in den Laboren schon gemacht worden. Und das, was heute noch Zukunftsmusik ist, wird in der allernächsten Zukunft möglich werden.“²

3 Anwendungsbereiche

Die Anwendungsbereiche der Nanotechnologie sind – wie bei jeder Querschnittstechnologie – äußerst vielgestaltig. Einen Überblick bieten der Bericht „Nanotechnologie“ des Büros für Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages (TAB)³, Politische Ökologie 101⁴ und die Studie der Swiss Re⁵. Der TAB-Bericht fasst sieben Anwendungsbereiche zusammen:

- Oberflächenfunktionalisierung und –veredelung;
- Katalyse, Chemie und Werkstoffsynthese;
- Energiewandlung und –nutzung;
- Konstruktion;
- Nanosensoren;
- Informationsverarbeitung und –übermittlung;
- Lebenswissenschaften (Biotechnologie).

² Ein technologischer Tsunami kommt auf uns zu, Interview mit Pat Mooney, Politische Ökologie 101, Ökom-Verlag, München 2006

³ Paschen et al., TA-Projekt Nanotechnologie, Arbeitsbericht Nr. 92, Berlin 2003

⁴ Politische Ökologie 101, Nanotechnologie, September 2006, Ökom Verlag, München

⁵ Swiss Re (Hg.), Nanotechnologie, Kleine Teile – große Zukunft?, Schweizerische Rückversicherungsgesellschaft, Zürich 2004, www.swissre.com

4. Wirtschaftliches Potential

Allgemein wird der Nanotechnologie ein hohes wirtschaftliches Potential zugeschrieben. Entsprechend haben sich bereits weltweit drei Allianzen gebildet, die die Vermarktung entsprechender Produkte anstreben: USNanoBusiness, die Europäische Nanowirtschaftsgesellschaft und das Asia-Pazifik Nanotechnologie Forum.

EU-Forschungskommissar Busquin erklärte 2004: „Nanotechnologie bietet die goldene Gelegenheit, neue, auf Wissen basierende Unternehmen zu gründen, und hat ein revolutionäres Potenzial, neue Produktionsverfahren zu erschließen. Es ist äußerst wichtig, dass ein günstiges Umfeld für nanotechnische Innovationen geschaffen wird.“⁶ Dementsprechend fördert die EU in ihrem 7. Forschungsrahmenprogramm die Nanotechnologie von 2007 bis 2013 mit 4,8 Milliarden Euro. Die Bundesregierung hat für die Forschung im Bereich Nanotechnologie allein in 2006 ein Volumen von 330 Millionen Euro in Form von eigenen Förderprogrammen sowie durch institutionelle Förderung über die entsprechenden Wissenschaftsgesellschaften bereitgestellt.⁷ Insgesamt sind in Deutschland im Zeitraum von 2002 bis 2005 Fördermittel in Höhe von knapp 1,1 Milliarden Euro investiert worden. Weltweit waren es im Jahr 2005 für Forschung und Entwicklung nanotechnologischer Produkte etwa 9,6 Milliarden US-Dollar.⁸

Das Bundesforschungsministerium geht in einer Studie davon aus, dass bereits heute 50.000 Arbeitsplätze in der Industrie direkt oder indirekt von der Nanotechnologie abhängen.⁹ Etwa 550 Unternehmen in Deutschland befassen sich mit Entwicklung, Produktion und Vertrieb nanotechnologischer Produkte.¹⁰

Die in den USA ansässige Lux Research, die jährlich einen Bericht zur wirtschaftlichen Entwicklung der Nanotechnologie veröffentlicht, beziffert das Weltmarktvolumen nanotechnologischer Produkte für 2005 auf 32 Milliarden US-Dollar.¹¹ Die Bundesregierung geht aufgrund einer weiten Definition nanotechnologischer Produkte von einem Weltmarkt von derzeit ca. 100 Milliarden Euro aus, der in irgendeiner Form von der Nanotechnologie beeinflusst wird.¹² Derartige Angaben sind je-

⁶ zitiert in: Andrea Reiche, Im Reich des Allerkleinsten, Politische Ökologie 101, Nanotechnologie, Ökom Verlag, München 2006

⁷ Bundestags-Drucksache 16/2322, 31.07.2006

⁸ http://www.luxresearchinc.com/press/RELEASE_TNR4.pdf

⁹ http://www.bmbf.de/pub/nano_initiative_aktionsplan_2010.pdf

¹⁰ Bundestags-Drucksache 16/2322, 31.07.2006

¹¹ http://www.luxresearchinc.com/press/RELEASE_TNR4.pdf

¹² Bundestags-Drucksache 16/2322, 31.07.2006.

doch Schätzungen, da niemand den genauen Anteil an nanotechnologischen Bestandteilen in Produkten bzw. deren Einsatz in Produktionsverfahren kennt. Häufig wird zwar mit dem Begriff „Nano“ geworben, die Produkte enthalten jedoch mitunter keine Bestandteile, die der oben zitierten Definition entsprechen. „Nano“ ist inzwischen zu einem Modebegriff geworden.

Eine Verbraucherschutzorganisation in den USA listet auf ihrer Homepage 200 Produkte auf, die nanotechnologische Bestandteile enthalten.¹³ Andere Experten schätzen die Anzahl der bereits im Handel befindlichen Produkte auf 500.¹⁴ Beim Deutschen Patent- und Markenamt sind ca. 150 Produkte mit dem Begriff „Nano“ im Markennamen registriert. Auf europäischer Ebene sind 550 Produkte mit „Nano-Label“ als Gemeinschaftsmarke angemeldet.¹⁵

Das IKU-Institut zählt in einer Studie¹⁶ folgende Produkte auf:

- Sonnenschutzcremes mit höherem UV-Schutz und für empfindlichere Haut beinhalten Oxidpartikel;
- Kosmetika mit Nanopartikeln;
- nanoskalige Tonerpartikel für Kopierer und Drucker;
- Farben und Lacke, die UV-Strahlen absorbieren;
- kratzfeste Autolacke;
- Textilien, die wasser- und schmutzabweisend sind;
- Textilien, die durch Oxidpartikel über einen verbesserten Sonnenschutz verfügen;
- Sicherheitsbekleidung, die elektrostatische Aufladung verhindert;
- verbesserte Entspiegelung und höhere Kratzfestigkeit von Brillengläsern;
- optimierte Elektronik-Chips, Festplatten, RAM-Speicher, Diodenlaser, Displays, Akkus;
- effizientere Energieausnutzung bei Leuchtdioden in Anzeigetafeln, Rückleuchten und Taschenlampen;
- Golf- und Tennisschläger mit Einlagerungen aus Kohlenstoff-Nanoröhren (CNT) mit erhöhter Stabilität und verbesserten Spieleigenschaften;
- Beimischungen nanopartikulärer Materialien bei Babywindeln zur besseren Absorption der Feuchtigkeit, bei Frischhaltefolien zur höheren Reißfestigkeit und Gaspermeabilität.

¹³ www.nanotechproject.org

¹⁴ Wolfgang Silvanus, Die unsichtbare Revolution, Natur und Kosmos 08/2006

¹⁵ Bundestags-Drucksache 16/2322, 31.07.2006

¹⁶ IKU-Institut (Hg.), Synthetische Nanopartikel, Studie im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, August 2005

Der Patentierung von Nanopartikeln muss eine große strategische Bedeutung zugeschrieben werden, da die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten sehr umfangreich werden könnte. Auch in diesem Bereich, ebenso wie bei der Patentierung biotechnologischer Erfindungen, könnte eine Kontroverse um die Reichweite der Patente und eine Debatte über die Differenzierung zwischen Stoffpatenten und Verfahrenspatenten geführt werden. Eine Patentierung chemischer Elemente ist im Patentrecht nicht möglich. Die Beschreibung nanotechnologischer Erfindungen muss sich daher auf die besonderen Eigenschaften, die durch die Größe und Struktur der Materialien bestimmt werden, beziehen.

Die folgende Tabelle aus einem Bericht des Umweltbundesamtes gibt den Stand der Entwicklung im Sommer 2006 wieder.¹⁷

¹⁷ UBA (Hg.), Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt, Hintergrundpapier, Umweltbundesamt, Dessau, August 2006

	<i>Bereits am Markt verfügbar</i>	<i>Marktreife steht bevor</i>	<i>In Entwicklung</i>	<i>Als Konzept vorhanden</i>
<i>Chemie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anorganische Nanopartikel ▪ Carbon Black ▪ Polymerdispersionen ▪ Mikronisierte Wirkstoffe ▪ Oberflächenveredelung ▪ Easy-to-Clean-Schichten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chemische Sensoren ▪ Nano-Schichtsilikate ▪ Organische Halbleiter ▪ Dendrimere ▪ Aerogele ▪ Polymere ▪ Nanokomposite ▪ Lacke 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CNT-Verbundmaterialien ▪ Hocheffiziente ▪ Wasserstoffspeicher 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Selbstheilende Werkstoffe
<i>Automobilbau</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reifenfüllstoffe ▪ Komponenten mit Hartschichten ▪ Antireflexschichten ▪ Kratzfeste Lacke 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nanopigmente ▪ Magneto-elektronische Sensoren ▪ Brennstoffzellen ▪ Nanokomposite ▪ Kraftstoffzusatz ▪ Antifog-Coatings ▪ Polymer-Windschutzscheiben 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermo-elektrische Abwärmennutzung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schaltbare Lacke ▪ Ferrofluid-Stoßdämpfer
<i>Elektronik</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GMR-HDD 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CMOS-Elektronik < 100nm ▪ Polymerelektronik ▪ FRAM ▪ MRAM 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ PC-RAM ▪ Molekularelektronik ▪ RTD ▪ Millipede 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DNA-Computing ▪ Spintronik
<i>Optische Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weiße LED 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ultrapräzisionsoptiken ▪ OLED 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CNT-FED ▪ Quantenkryptografie ▪ EUVL-Optiken ▪ Quantenpunktlaser ▪ Photonische Kristalle 	

<i>Lebenswissenschaften</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biochips ▪ Sonnenschutz 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Antimikrobiotika ▪ Magnetische Hyperthermie ▪ Drug Delivery ▪ Kontrastmittel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biosensoren ▪ Lab-on-a-Chip ▪ Tissue Engineering 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neuronale Kopplung an künstliche Systeme ▪ Biomolekulare Motoren
<i>Umwelttechnik</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Membranen zur Abwasserbehandlung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abgaskatalysatoren 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Filtersysteme zur Abscheidung von Ultrafeinstäuben ▪ Produkte zur Reinigung von Grundwasser und Böden 	

Erläuterungen zur Tabelle:

GMR-HDD: Giant Magnetic Head – Hard Disk Drive
 CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor;
 FRAM: Ferroelectric Random Access Memory
 MRAM: Magnetic Random Access Memory
 PC-RAM: Personal Computer Random Access Memory
 RTD: Resistance Temperature Detector
 DNA: Desoxyribonukleinsäure
 LED: Light Emitting Diode;
 OLED: Organic Light Emitting Diode
 CNT-FED: Carbon Nanotube Field Emission Display
 EUVL: Extreme Ultraviolet Lithography

5. Mögliche Risiken und Risikoabschätzungsaktivitäten

Die Diskussion möglicher Risiken durch Nanoprodukte wird zwar bereits seit Jahren geführt, allerdings nicht mit der gleichen Intensität, mit der die Chancen und Potentiale beleuchtet werden. In einem Hintergrundpapier des Umweltbundesamtes heißt es: „Die Frage, welche Wirkung Nanopartikel auf den Menschen und die Umwelt haben, ist noch nicht genügend beantwortet.“¹⁸

Denkbar sind

- Auswirkungen auf die Umwelt;
- Auswirkungen auf die Gesundheit der Beschäftigten während der Produktion;
- Auswirkungen auf die Gesundheit der Nutzer entsprechender Produkte;
- Auswirkungen auf die Gesundheit von Patientinnen und Patienten, die mit Nanoprodukten diagnostiziert bzw. therapiert werden;
- Auswirkungen auf die Gesundheit durch in der Umwelt angereicherte Nanopartikel.

Während die Forschung an und die Entwicklung von neuen nanotechnologischen Anwendungen mit Hochdruck betrieben werden, hinkt die Sicherheitsforschung im Blick auf die finanzielle Ausstattung und den Erkenntnisgewinn hinterher. Ein Problem besteht unter anderem darin, dass es schwierig ist, allgemein gültige Aussagen über Nanostrukturen zu treffen. Im Grunde muss jeder Einzelfall auf seine Auswirkungen für Gesundheit und Umwelt geprüft werden. Das gilt nicht nur für die Produktion, sondern für den gesamten Lebensweg bis hin zur Entsorgung des Produkts und der Prüfung der Fragen, ob Nanostrukturen aus dem Produkt in die Umwelt geraten und wie sie sich dort verhalten.

Offene Fragen, die sich aus dem Bereich der Prüfung von Chemikalien ergeben, sind:

Ist die jeweilige Nanostruktur

- stabil?
- langlebig?
- abbaubar?
- Akkumuliert sie?
- Bleibt sie singulär oder bildet sie spontan Agglomerationen (klumpt sie zusammen)?
- Treten Wechselwirkungen mit Oberflächen, Materialien auf?

¹⁸ UBA (Hg.), Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt, Hintergrundpapier, Umweltbundesamt, Dessau, August 2006

Wie verhält sich die Nanostruktur in lebenden Organismen:

- Wird sie in den Körper aufgenommen?
- Falls ja: Wie ist der Aufnahmepfad?
- Falls ja: Wie verhält sie sich dort?

5.1 Gesundheitliche Aspekte

5.1.1 Aufnahme durch Inhalation

In der Öffentlichkeit wird intensiv über die Gesundheitsrisiken kleiner Staubpartikel der Größe PM 10 (Teilchendurchmesser von kleiner als 10 Mikrometern, $1\mu\text{m} = 1/1000\text{ mm}$) und kleiner diskutiert. Für diese Gefährdung wurde die so genannte Feinstaubrichtlinie der EU verabschiedet. Feinstaub ist lungengängig und daher in seiner Wirkung gefährlicher als grober Staub. Dennoch handelt es sich bei Feinstaub nicht um Nanopartikel, auch wenn im Feinstaub Partikel mit Größen im Nanobereich vorkommen. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass Nanopartikel definierte Größen und Strukturen aufweisen. Wie sich Nanopartikel in der Lunge verhalten, ist eine drängende Frage, die schnellstmöglich geklärt werden muss. Die meisten Studien, die sich bisher mit den Risiken von Nanopartikeln auseinandersetzen, haben sich mit den Folgen der Inhalation beschäftigt.

Nanopartikel sind aufgrund ihrer Größe lungengängig und gelangen bis in die Alveolen (Lungenbläschen) hinein. Aufgrund ihrer geringen Abmessungen werden sie jedoch nicht von den Makrophagen (Fresszellen) als Fremdkörper erkannt und entfernt. Daher kann es zu Entzündungen der Lungen kommen. Nachgewiesen wurde auch der Übergang von den Lungen ins Blut. Auch ein direkter Übergang von der Nase in das Gehirn wurde beschrieben.¹⁹

Derzeit ist kaum abschätzbar, welchen Gefährdungen Arbeitskräfte ausgesetzt sind, die mit Nanopartikeln in Kontakt kommen. Auch fehlen standardisierte Messverfahren, um die Konzentration der Partikel am Arbeitsplatz messen zu können. In diesem Zusammenhang ist auch die Entwicklung wirksamer Schutzbekleidung als wichtige Maßnahme zu benennen. Die SwissRe äußerte in ihrer Studie von 2004 die Befürchtung, bei Einsatz eines nanopartikeldichten Atemfilters sei eine ausreichende Atmung nicht mehr gesichert.²⁰ Um solche Gefährdungen zu vermeiden, werden

¹⁹ UBA (Hg.), Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt, Hintergrundpapier, Umweltbundesamt, Dessau, August 2006

²⁰ Swiss Re (Hg.), Nanotechnologie, Kleine Teile – große Zukunft?, Schweizerische Rückversicherungsgesellschaft, Zürich 2004, www.swissre.com

Nanoteilchen deshalb in der Regel in kolloidalen Lösungen oder anderen gebundenen Formen in der Produktion eingesetzt.

5.1.2 Aufnahme durch die Haut

Ein weiterer denkbarer Aufnahmepfad erfolgt über die Haut. Auch dies muss sorgfältig untersucht werden, da bereits mehrere Kosmetikprodukte mit Nanopartikeln vermarktet werden. Bekannt geworden sind vor allem Sonnenschutzmittel, die das weiße Pigment Titandioxid als Nanopartikel enthalten. Der Vorteil dieser Produkte soll darin bestehen, dass die sehr kleinen Partikel keinen weißen Belag auf der Haut bilden, aber dennoch einen Schutz vor schädlicher UV-Strahlung bieten. Die bisherigen Untersuchungen ergaben keine Aufnahme über die intakte Haut.²¹

5.1.3 Aufnahme über den Verdauungstrakt

Eine Aufnahme über den Verdauungstrakt ist ebenfalls möglich. Da im Lebensmittelbereich und bei Medikamenten bereits am Einsatz von Nanopartikeln gearbeitet wird, muss untersucht werden, auf welchen Wegen die Nanopartikel den Körper durchlaufen und welche – beabsichtigten und unbeabsichtigten – Wirkungen sie dabei ausüben. So ist es wahrscheinlich, dass Nanopartikel durch die Darmmembran in das Lymphsystem wandern können. Auch sollen sie die Blut-Hirn- und die Plazentaschranke durchdringen können und Zellmembranen überwinden. Selbst wenn dies bei Medikamenten durchaus erwünscht sein kann, beispielsweise wenn es darum geht, Wirkstoffe in das Gehirn zu transportieren (drug delivery and drug-targeting), so muss doch sehr sorgfältig geprüft werden, ob es nicht zu unerwünschten und möglicherweise negativen Effekten kommen kann. Ob dies geschieht und welche Folgen dies hat, sollte Gegenstand der Forschung sein.

Besonders sensibel erscheint der Einsatz von Nanopartikeln im Lebensmittelsektor. Eine Verbraucherkonferenz, die in Deutschland im Jahr 2006 durchgeführt wurde, schloss mit der Beurteilung, dass der Einsatz der Nanotechnologie bei Verpackungen durchaus nützlich sein könne, wenn hierdurch Hygiene und Lebensmittelsicherheit verbessert werden könne. Bei den Lebensmitteln selbst urteilten die Beteiligten jedoch eher kritisch, da noch unklar sei, welche Wirkung Nanopartikel im menschlichen Körper entfalten. Sie forderten ein Zulassungsverfahren für nano-

²¹ UBA (Hg.), Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt, Hintergrundpapier, Umweltbundesamt, Dessau, August 2006

technisch veränderte Stoffe und eine Kennzeichnungspflicht.²² Das Umweltbundesamt mahnt aber auch eine Untersuchung darüber an, ob Nanopartikel aus Verpackungen in Lebensmittel gelangen.²³

5.1.4 Einsatz in der Medizin (Nanomedizin)

Durch den Einsatz von Nanotechnologie in der Medizin – genannt „Nanomedizin“ – erhoffen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vielfältige neue Ansätze für Diagnostik und Therapie, insbesondere bei Krebs und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Im Bereich der bildgebenden Diagnostik könnten nanopartikuläre Kontrastmittel, die gezielt an kranke Zellen binden, die Früherkennung und die Kontrolle des Therapieerfolgs verbessern. Nanochips könnten Patienten implantiert werden, um beispielsweise bei chronischen Krankheiten durch eine kontinuierliche Überwachung schnell auf bedrohliche Zustände reagieren zu können.²⁴ Sobald kritische Werte gemessen werden, könnte ein maßgeschneidertes Nanomedikament in den Körper abgegeben werden. Dank ihrer speziellen Beschichtung koppeln die Nanokügelchen nur an die erkrankten Zellen an, dringen in sie ein und geben das lebenswichtige Medikament frei.

Große Hoffnungen werden in eine präzise Anwendung von Medikamenten gesetzt: Beispielsweise sollen Tumorzellen gezielt zerstört werden, ohne dass gesundes Gewebe in Mitleidenschaft gezogen wird. Wirkstoffe werden zukünftig mittels „Fähren für Medikamente“ gezielt nur dort freigesetzt, wo sie Anwendung finden sollen.²⁵ Derartige Therapien werden für die Patienten vermutlich schonender, in der Durchführung aber auch kostspieliger sein, so dass sich neu die Frage der Zugangs- und Teilhabegerechtigkeit stellen wird und ein „nano divide“ droht. Hier kommt der Frage nach der Toxikologie von Nanopartikeln natürlich eine besondere Brisanz zu: Es werden bewusst Nanopartikel in den Körper eingebracht, die eine Wirkung im Körper entfalten sollen.

²² Bundesamt für Risikoforschung (Hg.), Verbrauchervotum zur Anwendung der Nanotechnologie in den Bereichen Lebensmittel, Kosmetika und Textilien, Berlin 2006

²³ UBA (Hg.), Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt, Hintergrundpapier, Umweltbundesamt, Dessau, August 2006

²⁴ Beratungskommission Gentechnik und Biotechnologie der Evangelischen Kirche in Hessen und Nassau: Zwischen Hoffnung und Entsetzen. Theologisch-Ethische Reflexionen zur Biochip-technologie, ETHICA 13 (1, 2005) 49–68.

²⁵ Heike E. Krüger-Brand, Viele Chancen, unbekannte Risiken, in: Deutsches Ärzteblatt, Jg. 104, Heft 9, 02.03.2007

In der Implantatmedizin wird an der Bioverträglichkeit von Materialien geforscht. Beispielsweise werden Knochenzemente entwickelt, die durch Nanostrukturierung mit geeigneten Eiweißstoffen einen raschen Umbau in biologischen Knochen ermöglichen. Dadurch könnten Knochenerkrankungen schneller und erfolgreicher behandelt und Krankenhausaufenthalte verkürzt werden.²⁶ Bei der Zucht von Zellen und Geweben hofft man, durch eine Anzucht auf nanostrukturierten Substraten Menge und Qualität der Zellen bzw. Gewebe zu verbessern.²⁷ Bereits im Handel ist das Produkt „Nanit®active“²⁸ gegen schmerzempfindliche Zähne, das weitestgehend aus den gleichen Bestandteilen wie der menschliche Zahn besteht und zusammen mit Speichel eine zahnanaloge Schutzschicht bildet.

Eine konsequente Fortführung dieser Technologien liegt in der Nanobiotechnologie (vgl. unter 6.4). Diese Kombination aus Nanotechnologie und modernen Biotechnologien könnte zu einem verstärkten Einwirken in das zelluläre und das genregulative Geschehen in Lebewesen führen. Sind zelluläre Regulationsprozesse ausreichend verstanden, so wird es zu Versuchen des gezielten Eingriffs kommen. Nanostrukturen könnten einen wesentlichen Beitrag hierzu leisten, da sie Zellmembranen überwinden. Hieraus können neue Diagnose- und Therapieverfahren entwickelt werden.

Bereits heute sollen sich 130 nanogestützte Medikationen und 125 diagnostische Tests in der klinischen Prüfung befinden.²⁹ Da die Nanomedizin neben den Bereichen Diagnostik und Therapie auch Medizinprodukte umfasst, könnte sie zukünftig auch zum „Enhancement“, d. h. zur Verbesserung des Menschen eingesetzt werden: sei es durch eine nanotechnologisch unterstützte Erweiterung der menschlichen Fähigkeiten oder durch das Schaffen von Maschine-Mensch-Systemen.

5.2 Umweltaspekte

Nanoteilchen können der Umwelttechnologie neue Impulse verleihen. So werden beispielsweise in Abgaskatalysatoren metallische oder keramische Nanopartikel eingesetzt, um die Verbrennung umweltschädlicher Gase wie Stickoxide und Kohlen-

²⁶ Prof. Dr. Wolfgang Pompe, persönliche Mitteilung, 03.02.2007

²⁷ Heike E. Krüger-Brand, Viele Chancen, unbekannte Risiken, in: Deutsches Ärzteblatt, Jg. 104, Heft 9, 02.03.2007

²⁸ www.nanit-active.de

²⁹ Günter Virt, Was können bioethische Dokumente bewirken?, Vortrag 16. Juni 2006, Symposium Werner Wolbert zum 60. Geburtstag

monoxid zu verbessern. Dabei muss natürlich geprüft werden, ob Nanoteilchen aus den Katalysatoren in die Umwelt freigesetzt werden und welche Wirkung diese dort ausüben.

Die Auswirkungen von Nanopartikeln auf die Umwelt sind jedoch noch weitgehend unerforscht. Das Umweltbundesamt zitiert einige Studien, die bei Wasserlebewesen schädliche Auswirkungen durch die Aufnahme von Kohlenstoff-Nanostrukturen (C60-Strukturen, Buckminster-Fulleren) und Titandioxid festgestellt hatten.³⁰

Zahlreiche Anwendungen der Nanotechnologie zielen darauf ab, eine bakterizide Wirkung zu entfalten. Was in der Abwasserreinigung und in der Filtertechnologie vorteilhaft erscheint, kann jedoch in den Gewässern zu einer Störung der Nahrungskette führen. Auch in der biologischen Reinigungsstufe der Kläranlagen kann die bakterizide Wirkung zu einer Störung des mikrobiellen Gleichgewichts führen. Ob Funktionsunterwäsche oder Socken eine bakterizide Wirkung haben sollten, scheint zumindest für die breite Bevölkerung fragwürdig zu sein.

Da sich Nanopartikel völlig anders als größere Strukturen der gleichen chemischen Zusammensetzung verhalten, ist es nicht möglich, aufgrund der chemischen Zusammensetzung Prognosen über mögliche Umweltwirkungen und die Toxikologie zu machen. Letztendlich müssen Nanostrukturen wie neue eigenständige Chemikalien behandelt und in jedem Einzelfall auf ihre Umweltwirkung hin untersucht werden. Die Erfahrungen mit der Risikoforschung im Bereich gentechnisch veränderter Organismen weisen darauf hin, dass es dabei von besonderer Bedeutung ist, unterschiedliche Organismen nicht nur im Labor, sondern auch in ihrem Ökosystem zu untersuchen, da insbesondere bei Mikroorganismen Wechselwirkungen untereinander gestört werden können. Hier besteht eine besondere Sorgfaltspflicht.

5.3 Risikoforschung

Auch wenn Forschungsaktivitäten zu Fragen der Risikoabschätzung sowohl vom Volumen als auch von den zur Verfügung gestellten Fördermitteln deutlich bescheidener ausfallen, muss konstatiert werden, dass die Bedeutung der Klärung der zahlreichen unbeantworteten Fragen von Wirtschaft und Politik durchaus erkannt wurden. So berichtet die Bundesregierung in 2006 von zahlreichen Aktivitäten der

³⁰ UBA (Hg.), Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt, Hintergrundpapier, Umweltbundesamt, Dessau, August 2006

Vgl. auch TA-Swiss: Nano! Nanu? Publifocus „Nanotechnologien und ihre Bedeutung für Gesundheit und Umwelt“, Bern 2006 (www.ta-swiss.ch)

zuständigen Ministerien und Behörden sowie der Industrie zur Ermittlung des Klärungsbedarfs im Blick auf die Sicherheit nanotechnologischer Produkte: In den BMBF-Projekten NanoCare, INOS (Identifizierung und Bewertung von Gesundheits- und Umweltauswirkungen von technischen nanoskaligen Partikeln) und TRACER (Toxikologische Bewertung und Funktionalisierung von Kohlenstoff-Nanomaterialien) werden seit Anfang 2006 gemeinschaftlich von Industrie und Forschungseinrichtungen wissenschaftliche Grundlagen zu gesundheitlichen Aspekten von Nanopartikeln erarbeitet. Nach Angaben der Bundesregierung werden von 2007 bis 2009 rund 7,6 Millionen Euro Forschungsmittel für gesundheits- und ökologieorientierte Fragestellungen aufgewendet. Im Vergleich: Allein in 2006 wurde die Nanotechnologie von der Bundesregierung mit 330 Millionen Euro gefördert.³¹

Auf EU-Ebene fand die Sicherheitsforschung Eingang in die Forschungsrahmenprogramme. EU-Projekte wie „NanoSafe 1+2“, „IMPART/Nanotox“, „Particle-Risk“ und „NanoDerm“ dienen der Risikoeinschätzung von Nanomaterialien. Der Aktionsplan der Europäischen Kommission zur Nanotechnologie, „der Maßnahmen zur Etablierung eines wirtschaftsfreundlichen, integrierten und verantwortungsvollen Umganges bei F&E in den Nanotechnologien initiieren soll, ohne dabei die gesellschaftlichen Bedürfnisse (Sicherheit, Transparenz, Information) zu vernachlässigen“³², scheint der Sicherheitsforschung allerdings keine hohe Priorität zuzumessen.

Der schweizerische Rückversicherungskonzern SwissRe hat das „International Risk Governance Council IRGC“ ins Leben gerufen. Ziel der Initiative ist es unter anderem, zum Verständnis und Management möglicher Risiken durch die Nanotechnologie für Gesundheit, Sicherheit, Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft beizutragen. In 2006 wurde ein „White Paper on Nanotechnology Risk Governance“ herausgegeben.³³ Die OECD hat im September 2006 eine Unterarbeitsgruppe in ihrem Chemikalien-Komitee eingerichtet, die sich mit Risiken von künstlichen Nanomaterialien für Gesundheit und Umwelt beschäftigen wird.

5.4 Gesetzliche Regulation der Nanotechnologie

„Nach derzeitigem Kenntnisstand sieht die Bundesregierung gegenwärtig keinen Veränderungsbedarf bei bestehenden Normen, Gesetzen und Verordnungen aufgrund nanotechnologischer Entwicklungen. Das bestehende gesetzliche und unter-

³¹ Bundestags-Drucksache 16/2322, 31.07.2006

³² Bundestags-Drucksache 16/2322, 31.07.2006

³³ http://www.irgc.org/irgc/_b/contentFiles/IRGC_white_paper_2_PDF_final_version.pdf

gesetzliche Regelwerk ebenso wie das geplante neue Chemikalienrecht der Europäischen Union (REACH) bietet flexible Instrumente, um mögliche Risiken nanotechnologischer Entwicklungen zu erkennen und gegebenenfalls darauf zu reagieren. [...] Insgesamt besteht derzeit keine gesonderte Kennzeichnungspflicht für Produkte, in denen nanopartikuläre Substanzen verwendet werden.“³⁴

Diese Einschätzung der Bundesregierung stößt jedoch nicht auf ungeteilte Zustimmung. Aufgrund der fehlenden Informationen über die Auswirkungen von Nanopartikeln auf Gesundheit und Umwelt schreibt beispielsweise das Umweltbundesamt:

„Ein vordringlicher Forschungs- und Informationsbedarf zeichnet sich insbesondere in folgenden Bereichen ab:

- Informationen über den Einsatz und die Anwendung von Nanopartikeln: Expositionsszenarien über den Lebenszyklus von Nanopartikeln,
- Informationen über die Freisetzung von Nanopartikeln,
- Wirkungsbeurteilung [...].“³⁵

Um dieses jedoch realisieren zu können, muss die Verwendung von Nanopartikeln in Produkten erkennbar sein. Die Produkte müssen demnach gekennzeichnet werden. Auch ist eine Normung des Begriffs „Nanopartikel“ erforderlich, um eine irreführende Bezeichnung von Produkten zu vermeiden. Derzeit werden Nanopartikel in ihrer chemischen Charakterisierung mit den gleichen CAS-Nummern (Chemical Abstract System, System zur Charakterisierung von chemischen Substanzen) beschrieben wie ihre zwar chemisch identischen, aber in ihren Eigenschaften unterschiedlichen makrostrukturellen Analoga. Es würde die internationale Sicherheitsforschung wesentlich erleichtern, wenn ein eigenes CAS-System für Nanosubstanzen aufgebaut würde. Ein Vergleich mit der Regulierung der ebenfalls noch relativ neuen und in ihren Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt noch nicht vollständig erforschten Gentechnik zeigt, dass hier die Bedeutung des begleitenden Monitorings von den Behörden sowohl auf bundesdeutscher als auch auf europäischer Ebene erkannt und in Gesetzen und Verordnungen beschrieben wurde.

Die Gentechnikgesetzgebung sowie das Ringen um die Novellierung des europäischen Chemikalienrechts dokumentieren eindrucksvoll, in welchem Maße sich die Regulierungsbemühungen von Gesetzgebern und Behörden in einem Spannungs-

³⁴ Bundestags-Drucksache 16/2322, 31.07.2006

³⁵ UBA (Hg.), Nanotechnik: Chancen und Risiken für Mensch und Umwelt, Hintergrundpapier, Umweltbundesamt, Dessau, August 2006

feld verschiedener Interessen befinden. Umso mehr sollte der ernsthafte Versuch unternommen werden, die Unabhängigkeit der Behörden sicherzustellen und ihnen zur Prüfung aller anstehenden Fragen eine umfassende Dokumentation von ausgewogenen Hintergrundinformationen zu ermöglichen. Hierzu sollten auch Erfahrungsberichte von Laien im Umgang mit Verfahren und Produkten berücksichtigt werden.

6. Anthropologische und ethische Aspekte

Die bisherigen Innovationen der Nanotechnologie und die bereits marktreifen Produkte beschäftigen sich überwiegend mit neuen Oberflächenbeschichtungen, Filtern und anderen technischen Produkten. Hinzu kommen Produkte im kosmetischen, medizinischen und Ernährungsbereich. Das Augenmerk der ethischen Betrachtung soll sich hier zunächst auf diese realistischen Produkte richten. In einem zweiten Schritt soll die Perspektive auf Forschungsrichtungen ausgeweitet werden, die eine Synthese aus moderner Biotechnologie (Gentechnik, Zellbiologie) und Nanotechnologie anstreben. Diese Forschungsrichtung wird als „Nanobiotechnologie“ bezeichnet.

Bei der ethischen Beurteilung der Nanotechnologie kann auf Erfahrungen aus anderen Bereichen zurückgegriffen werden – eine eigene „Nanoethik“ ist nicht erforderlich, auch wenn die Nanotechnologie Fragen aus anderen Bereichen verschärft.³⁶

Unstrittig scheint es jedenfalls bereits zum jetzigen Zeitpunkt zu sein, dass die Nanotechnologie aus ethischer Sicht nicht grundsätzlich in Frage gestellt wird. Daher wird es hier um eine Analyse gehen, wie ein verantwortungsvoller Einsatz der neuen Technologie erfolgen kann. Grundlage der ethischen Betrachtung stellt eine Verantwortungsethik dar, wie sie beispielsweise früher von Heinz Eduard Tödt³⁷

³⁶ Vgl. Armin Grunwald: Ethische Aspekte der Nanotechnologie. Eine Felderkundung, in: Technikfolgenabschätzung. Theorie und Praxis 13 (2, 2004) S. 71–78. Grunwald betont, dass neue Fragen vor allem dadurch aufgeworfen würden, dass sich bislang getrennte ethische Reflexionslinien treffen, vor allem Bioethik und Technikethik. Die Rede von einer eigenen „Nanoethik“ erscheine jedoch übertrieben. Nanotechnologische Begleitforschung hat sich natürlich schon längst zu formieren begonnen, vgl. im europäischen Zusammenhang „NanoCap“ (Nanotechnology Capacity Building; www.nanocap.eu) und in Deutschland das „Nanobüro“ am Zentrum für Interdisziplinäre Technikforschung der TU Darmstadt (www.nanobuero.de), „CINSAT“ an der Universität Kassel (www.cinsat.de) oder die NanoGruppe Marburg (www.nano-marburg.de).

³⁷ Heinz Eduard Tödt: Perspektiven theologischer Ethik, München 1988

entwickelt wurde. Eine Verantwortungsethik beleuchtet die verschiedenen Aspekte möglicher Folgen der Anwendung dieser neuen Technologie. Es wird darauf ankommen, neben einem hinreichenden Verfügungswissen im Blick auf die Nanotechnologie in hohem Maße auch Orientierungswissen zu schaffen und in die ethische Diskussion mit einzubringen.

Neben solchen ethischen Überlegungen ist es unverzichtbar, Gedanken zu einem christlichen Menschenbild zu entwerfen und voranzustellen, die Hintergrund und Bewertungsgrundlage aus evangelischer Sicht darstellen.

6.1 Überlegungen zu einem christlichen Menschenbild

In der Bibel hat die Frage nach dem Menschen einen zentralen Ort. Sie steht hier ganz im Horizont der Gottesbeziehung. In der Hinwendung zu Gott beginnt der Mensch, auch sich selbst zu verstehen: „Was ist der Mensch?“ Schon der Psalmist hat so gefragt: „Wenn ich sehe die Himmel, deiner Finger Werk, den Mond und die Sterne, die du bereitet hast: Was ist der Mensch, dass du seiner gedenkst und des Menschen Kind, dass du dich seiner annimmst? Du hast ihn wenig niedriger gemacht als Gott, mit Ehre und Herrlichkeit hast du ihn gekrönt.“ (Psalm 8,4-6) Die Frage des Psalmisten weist auch auf eine Antwort – wenn auch auf eine ambivalente: Denn sie betont die Niedrigkeit des Menschen im Vergleich zu Himmel und Gestirnen, und sie betont dessen Ehre und Herrlichkeit. In dieser Ambivalenz ist der Mensch das Lebewesen, das von Gott gewürdigt wird: Es ist Gottes Ansprechpartner, Gegenüber und Ebenbild.

Die Gottebenbildlichkeit charakterisiert die besondere Würde des Menschen. Sie ist Aufgabe und Verpflichtung, den Menschen nicht zu instrumentalisieren und ihn niemals nur als Mittel zu fremden Zwecken einzusetzen. Die Würde des Menschen liegt menschlichen Zuerkennungen voraus, sie kommt ihm allein aufgrund seines Menschseins zu und gilt unabhängig von seiner Entwicklungsphase, seiner Gesundheit und seinem Bewusstseinszustand.

Weiterhin geht die christliche Ethik davon aus, dass der biblische Schöpfungs- und Kulturauftrag „Macht euch die Erde untertan“ (Gen 1,28), „bebaut und bewahrt sie“ (Gen 2,15) auch für die Bewertung der heutigen Eingriffsmöglichkeiten des Menschen gilt. Die Natur ist nicht unantastbar, sie kann und soll vom Menschen, dem „geschaffenen Mit-Schöpfer“³⁸, gestaltet werden. Gott hat den Men-

³⁸ Vgl. Philip Hefner, *The Human Factor. Evolution, Culture and Religion*, Minneapolis: Fortress Press, 1993, und Philip Hefner, *Technology and Human Becoming*, Minneapolis: Fortress Press, 2003

schen als freies und verantwortliches Wesen geschaffen. Deshalb ist es dem Menschen eigen, dass er sein Handeln – im Guten wie im Bösen – selbst bestimmen kann. Der Mensch ist für sein Tun und Lassen verantwortlich vor Gott, vor den heutigen Menschen, seinen Mitgeschöpfen und vor den künftigen Generationen. Seine Gottebenbildlichkeit schließt die vernünftige und angemessene Gestaltung und den verantwortlichen Umgang mit der theologisch als Schöpfung verstandenen Natur ein, wozu auch Forschung und Wissenschaft zu rechnen sind – auch die der Nanotechnologie, die als besonders geeignetes Spielfeld eines „religiösen Techno-Naturalismus“ gleichzeitig der kritischen Betrachtung bedarf.³⁹

Die mit der Nanotechnologie verfolgten Ziele bestehen unter anderem in medizinischer Hilfe, die sich zunächst auf die Gewinnung naturwissenschaftlicher Grundlagenkenntnisse für die Entwicklung therapeutischer Verfahren beziehen. Aus christlicher Sicht ist diese Zielsetzung zu befürworten. Das Gebot der Nächstenliebe zielt darauf, Menschen in Not zu helfen; Krankheit und Leid sind exemplarische Situationen menschlicher Not; darum haben die Behandlung von Kranken und die Bemühung um die Therapie von Krankheiten in der Geschichte der christlichen Kirchen eine lange Tradition. Das bedeutet allerdings nicht, dass die Therapieaussichten und Therapieversprechungen uneingeschränkt zur Geltung kommen können. Vielmehr müssen Therapieversprechungen sorgfältig und nüchtern geprüft werden. Es bleibt zu berücksichtigen, dass ärztliches Handeln und daher auch medizinische Forschung auf das Helfen und Heilen hin verpflichtet sind (so genannter therapeutischer Imperativ bzw. die Verpflichtung des Arztes auf das Wohl der Patienten).

6.2 Ethische Aspekte der Nanotechnologie

6.2.1 Abschätzung der Folgen

Produkten, bei denen die Nanotechnologie zur Anwendung kommt, werden zahlreiche positive Eigenschaften zugeschrieben. Aus ethischer Sicht stellt sich die Frage, ob diese positive Wirkung über den gesamten Lebensweg des Produkts analysiert wurde. Dies gilt für den Produktionsprozess, für die Anwendung des Produkts bis hin zur Entsorgung bzw. einem Recycling.

³⁹ Vgl. Jan C. Schmidt: Technological Creationism. Prospective Perspectives of the Theology-Technology Dialogue in the Framework of Nanotechnology, in: in: Streams of Wisdom? Science, Theology and Cultural Dynamics. Hubert Meisinger, Willem B. Drees and Zbigniew Liana (ed.). Studies in Science and Theology. Yearbook of the European Society for the Study of Science and Theology. Vol. 10. Lund: Lund University 2005, 211-228.

Das Beispiel Asbest illustriert, dass die sehr positiven Materialeigenschaften eines Werkstoffs leider sehr negative Auswirkungen im menschlichen Organismus ausüben. Heute liegen Erkenntnisse vor, die den Zusammenhang zwischen Gestalt der Asbestfasern, Lungengängigkeit, schlechter biologischer Abbaubarkeit und verschiedenen schweren Krankheitsbildern belegen. Bei Asbest dauerte es Jahrzehnte, bis die zahlreichen Hinweise auf die negativen Eigenschaften des Werkstoffs endlich ernst genommen und die Verwendung von Asbest eingeschränkt und schließlich verboten wurde.

Auch wenn es zu Beginn der Einführung neuer Werkstoffe schwierig erscheint, die Folgen des Einsatzes abzuschätzen, sollten die denkbaren negativen Folgen sorgfältig erforscht und geprüft werden, um eine starke Verbreitung von als problematisch erscheinenden Werkstoffen schon zu Beginn zu vermeiden – gerade angesichts der bereits erwähnten Möglichkeit der Überwindung der Blut-Hirn-Schranke.

6.2.2 Bewertung der Risiken

Bei der Nanotechnologie ist – wie bei jeder anderen neuen Technologie – die Risikoabschätzung im Vorfeld praktisch unmöglich, da wesentliche Erkenntnisse noch gar nicht vorliegen. Aber wie die Studie „Late lessons from early warnings“ anhand zahlreicher Beispiele aufzeigt,⁴⁰ können die Erfahrungen aus anderen Handlungsfeldern, in denen es zu Umwelt- oder Gesundheitsgefahren gekommen ist, herangezogen werden, um grundsätzliche Strategien zur Risikoabschätzung zu entwickeln, die sich auch auf die Nanotechnologie anwenden lassen.

Hierzu gehört eine möglichst frühzeitige und umfassende Charakterisierung von Eigenschaften nanotechnologischer Produkte, die möglicherweise auch dazu führen könnte, dass Produktklassen definiert werden. Eine Klassifizierung ist ein wichtiges Hilfsmittel bei der Regulation von Stoffen. Es ist keinesfalls ausreichend, die Eigenschaften von chemischen Substanzen der herkömmlichen Chemie als Maßstab für toxikologische Betrachtungen heranzuziehen, da die Eigenschaften von Nanopartikeln völlig andere sein können. Für Nano-Substanzen ist daher das Konzept der substantiellen Äquivalenz völlig ungeeignet.

Um langfristige Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt überhaupt beobachten zu können, ist nicht nur eine Kennzeichnung von nanopartikelhaltigen Produkten erforderlich. Es müssen auch Lifecycle-Analysen und Monitoring-Programme eingerichtet werden. Hierzu werden dringend entsprechende Mess- und Analyse-

⁴⁰ http://reports.de.eea.europa.eu/environmental_issue_report_2001_22/de/index_html_local

verfahren benötigt, um Nanopartikel nachweisen und identifizieren zu können. Diese Verfahren müssen international vergleichbar sein, um einen internationalen Erkenntnisaustausch zu gewährleisten. Eine Entwicklung von standardisierten Verfahren und entsprechenden Normen (CEN, ISO) ist dabei unabdingbar.

Insbesondere muss geklärt werden, ob in Oberflächenbeschichtungen gebundene Nanopartikel sich ablösen und ihre Wirkung anschließend in der Umwelt bzw. im Organismus entfalten. Dies wäre insbesondere bei bakterizid wirksamen Nanopartikeln ein sehr realistisches Risiko.

Aufgrund ihrer Abmessungen sind Nanopartikel theoretisch in der Lage, sich über die Medien Luft und Wasser weltweit zu verbreiten. Eine Rückholbarkeit wäre sicher nicht gegeben. Sind derartige Partikel nicht abbaubar, könnten sie sich in der Natur anreichern. Eine mögliche schädliche Wirkung hätte dann unheilvolle Folgen. Als Beispiel aus einem anderen Bereich seien hier die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) genannt, auf deren Ozon abbauende Wirkung in der oberen Atmosphäre erst sehr spät international reagiert wurde.

Bei der Bewertung von Risiken der Nanotechnologie sollte dem Vorsorgeprinzip gefolgt werden: Bei bestehenden Anzeichen über Gesundheits- oder Umweltgefahren ist der Einsatz von Nanopartikeln sorgfältig zu reglementieren oder sogar gänzlich zu vermeiden.⁴¹

6.2.3 Abwägung von Kosten und Nutzen

Mit dem Einsatz von nanopartikelbasierten Techniken wird eine Ressourcen- und Energieeffizienzsteigerung erwartet. Der Nutzen des Einsatzes der Nanotechnologie scheint in zahlreichen Anwendungsbereichen vorhanden und durchaus hoch zu sein. Dennoch sollte in jedem Anwendungsgebiet angemahnt werden, die entstehenden Entwicklungs- und Produktionskosten gegen den Nutzen abzuwägen. Es mag durchaus Bereiche geben, wo der Einsatz der Nanotechnologie zu höheren Kosten führt, die die Nutzung nicht als vorteilhaft erscheinen lassen.

Auch kann es Anwendungsbereiche geben, bei denen der vorgebliche Nutzen zweifelhaft erscheint. So wird beispielsweise in der Lebensmitteltechnologie an Produkten gearbeitet, die dem Verbraucher die Zubereitung der Nahrung und die Versorgung mit wertvollen Inhaltsstoffen erleichtern sollen: so genanntes convenience food. Kritiker warnen hier vor einem Verlust der Natürlichkeit der Ernäh-

⁴¹ Vgl. Hans Jonas' nicht unumstrittenen Gedanken einer „Heuristik der Furcht“ als Prinzip der Risikobewertung, entwickelt in: Hans Jonas: Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation, Frankfurt 1984.

rung, die durch technische Aufbereitung bestimmte Mode-Inhaltsstoffe anreichert und offensiv bewirbt, deren tatsächliche Nützlichkeit für die menschliche Ernährung kurze Zeit später in einer neuen Ernährungsstudie widerlegt wird. Hier stellt sich – bereits vor Einführung nanotechnologisch „optimierter“ Nahrungsmittel – die Frage, ob eine ausgewogene gesunde Ernährung nicht auch ohne den hohen technischen Aufwand und die damit verbundenen Kosten erzielt werden kann.

6.2.4 Einbeziehung von Alternativen

Aus der bisherigen Argumentation heraus ergibt sich die ethische Forderung, in denjenigen Fällen, wo es Zweifel an der Ungefährlichkeit des Produktes, zu erwartende mögliche Risiken für Gesundheit und Umwelt im Produktionsprozess, bei der Nutzung, oder bei der Entsorgung gibt, alternative Produkte oder Techniken auf ihre Eignung hin zu prüfen und diese gegebenenfalls zu bevorzugen.

Der Vergleich mit dem Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft zeigt, dass dieses Prüfkriterium dort nicht beachtet wurde: Gentechnisch veränderte Pflanzen, die nachweislich negativere Auswirkungen auf das Artenspektrum haben als herkömmliche Pflanzen, werden dennoch angebaut.⁴²

6.2.5 Gerechtigkeit

Der Aspekt der Gerechtigkeit ist in der zunehmend globalisierten Welt von besonderer Bedeutung. Eines der größten Gesundheitsprobleme der Menschheit ist die Versorgung mit Trinkwasser. Der breite Einsatz neuer nanotechnologischer Verfahren zur Entkeimung und Filterung von Wasser könnte Millionen von Menschen eine bessere Überlebenschance bieten. Daher sollten sichere neue Technologien eine schnelle Verbreitung finden.

Ebenso wie bei Medikamenten gegen Malaria, Tuberkulose und zur Behandlung von HIV/AIDS sollten derartige Technologien ohne den in Industriestaaten üblichen kostspieligen Patentschutz oder über das System der Zwangslizenzen auch finanziell schwachen Staaten zur Versorgung der Bevölkerung zu einem fairen Preis zur Verfügung gestellt werden.⁴³ Allerdings darf der technologisch weniger entwickelte

⁴² Farm Scale Evaluations, www.defra.gov.uk/environment/gm/fse/index.htm

⁴³ Vgl. auch: UNESCO (Hg.), *The Ethics and Politics of Nanotechnology*, 2006, www.unesco.org/shs/ethics

Süden dabei nicht zum Versuchsfeld für die Erprobung riskanter neuer Technologien des Nordens gemacht werden.

Neben der Verteilungsgerechtigkeit ist aber auch nach der Partizipationsgerechtigkeit zu fragen: Ist die Öffentlichkeit in ausreichendem Maße an den Entscheidungsprozessen über eine neue Technologie beteiligt, die ihr zukünftiges Leben sicher stark beeinflussen wird? Welche Rolle spielen bei diesem Diskurs Akteure wie die Scientific Community, die Industrie, Nichtregierungsorganisationen, Überwachungsbehörden und die Gesetzgeber? Sind angesichts der Globalisierung die Länder des Südens ausreichend in diese Kommunikation eingebunden?

6.3 Ethische Aspekte der Nanomedizin

Die Nanomedizin bietet im Bereich der Diagnostik sicher die Chance, Gesundheitsrisiken frühzeitig zu erkennen und entsprechende therapeutische Maßnahmen einzuleiten. Allerdings kann der Einsatz der Nanotechnologie auch dazu führen, dass sich – ähnlich wie bei der genetischen Diagnostik – die Lücke zwischen der prädiktiven Diagnostik und möglichen Therapien weiter vergrößert. Das Ansteigen der Erkenntnisse über bestehende Risiken kann verunsichern und aus „Gesunden“ „potentielle Kranke“ werden lassen. Ähnlich wie bei der genetischen Diagnostik sind hier Auswirkungen auf Kranken- und Lebensversicherungen und auf die Chancen auf dem Arbeitsmarkt denkbar.⁴⁴ Nanochips könnten Patienten implantiert werden, um beispielsweise bei chronischen Krankheiten durch eine kontinuierliche Überwachung schnell auf bedrohliche Zustände reagieren zu können. Wo aber liegt die Grenze zwischen sinnvoller Kontrolle von Stoffwechselfvorgängen und dem „Gläsernen Menschen“?

Im Bereich der Nanomedizin ist zu fragen, ob neue Diagnose- und Therapieverfahren allen Patienten zugute kommen werden, oder ob diese lediglich einer zahlungskräftigen Klientel angeboten werden. Schon heute übernehmen die Krankenkassen für zahlreiche Verfahren nicht mehr die Kosten und der Patient wird aufgefordert, die Kosten selbst zu tragen. Dieser Trend zur Zweiklassenmedizin könnte sich über eine breite Anwendung neuer nanotechnologischer Verfahren weiter verschärfen. Hinzu kommen die bereits in der heutigen Medizin bestehenden Konflikte: So führen Patente zu einer Verteuerung von Testverfahren (beispielsweise auf

⁴⁴ Ethische Überlegungen zur genetischen Diagnostik, vorgelegt von der Arbeitsgruppe „Ethische Fragen der Gentechnik“ der Evangelischen Kirche von Westfalen, Heft 5/2004 der Reihe „Materialien für den Dienst in der Evangelischen Kirche von Westfalen“, http://www.kircheundgesellschaft.de/umweltreferat/documents/materialien_gendiagnostik.pdf

Brustkrebsgene). Wichtige Medikamente für Länder des Südens (beispielsweise zur Behandlung von HIV/AIDS) werden erst nach zähen Verhandlungen und hohem öffentlichen Druck zu Preisen angeboten, die in diesen Ländern auch bezahlbar sind und eine flächendeckende Medikation der Bevölkerung erlauben. Im Blick auf die von der Nanomedizin zu erwartenden Innovationen ist daher zu fragen, wie ein gerechter Zugang zu lebenswichtigen Verfahren international gewährleistet werden kann.

6.4 Ethische Aspekte der Nanobiotechnologie

„Die Forschungs- und Technologiefelder Nanotechnologie, Biotechnologie, Informationstechnologie und Kognitionswissenschaft werden in Zukunft stärker zusammenwachsen (konvergieren). Die Erwartungen, die mit dem Einsatz der Konvergierenden Technologien verbunden sind, reichen von der Heilung Querschnittsgelähmter über die Entwicklung neuer Therapiemöglichkeiten und Ersatzorgane bis hin zu einer signifikanten Verlängerung der Lebensspanne bei zumindest gleich bleibender Lebensqualität. Längerfristig könnten mehr und mehr Funktionen des menschlichen Körpers von Artefakten aus dem Bereich der Konvergierenden Technologien übernommen werden und eines Tages in der Lage sein, die sensorischen und mentalen Fähigkeiten des Menschen zu verbessern. Für das menschliche Selbstverständnis sind mit derartigen Entwicklungen zentrale ethische Fragestellungen verbunden.“⁴⁵

Die ethische Beurteilung einer neuen Technologie kann keine endgültigen Antworten auf Fragen geben, die zum Teil noch gar nicht formuliert worden sind. Einige Darstellungen der Chancen der Nanotechnologie lesen sich wie Science-Fiction-Romane und beschreiben eine Welt, in der sich selbst replizierende intelligente Roboter und technisch optimierte Menschen tummeln. Die Nanotechnologie ist ein „hochgradig visionäres Thema“, deren gerade auch bildliche Antizipationen möglicher Zukünfte eine wichtige Rolle spielen in den Diskursen der Wissenschaft, Wirtschaft und Massenmedien und ihren Wechselwirkungen und Abhängigkeiten.⁴⁶

⁴⁵ BMBF (Hg.), Nano-Initiative – Aktionsplan 2010, Bonn/Berlin 2006

⁴⁶ Andreas Lösch: Antizipation nanotechnischer Zukünfte: Visionäre Bilder als Kommunikationsmedien, in: Alfred Nordmann, Joachim Schummer, Astrid Schwarz (Hg.): Nanotechnologie im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven, Berlin 2006, 223-242, (223f). Seine These lautet, dass futuristische Bilder als Kommunikationsmedien in und zwischen wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und massenmedialen Diskursen funktionieren. Diese modifizieren sich fortlaufend in gegenseitiger Abhängigkeit, so dass eine zeitliche Periodisie-

Die Analyse dieser teilweise euphorisch anmutenden Schilderungen der Optionen für eine nanobiotechnologisch optimierte Zukunft spiegeln allerdings ein Bild von der belebten Natur wider, das eigentlich schon als unzutreffend widerlegt schien: Bei der Entwicklung der Gentechnik wurde der Versuch unternommen, lebende Organismen in Schemata zu pressen, die von der Doktrin „ein Gen, eine Information, eine Funktion“ beherrscht wurde. Schon Ende des 20. Jahrhunderts galt dieses Bild von der belebten Natur, die von ihren Genen beherrscht wird, als überholt. Das Genom entpuppte sich als dynamische Struktur mit vielfältiger Regulation, deren Funktionsweise Anfang des 21. Jahrhunderts keineswegs auch nur annähernd verstanden wird. Mit der Proteomik setzte sich die Erkenntnis durch, dass die vielfältigen Proteinstrukturen ebenfalls eine wichtige Rolle in den Organismen spielen.

Nun taucht mit der Nanobiotechnologie eine erneute reduktionistische Sichtweise der Natur auf. Nicht mehr die Erbinformation stellt die Information dar, die uns letztendlich helfen wird, sowohl unbelebte als auch belebte Natur zu beherrschen und nach unserem Bild zu verändern. Die Nanotechnologie-Welt wird aus einzelnen Atomen oder kleinen Molekülen zusammengesetzt. Forscher nutzen natürliche biologische Strukturen quasi als Vorlage, um anschließend nach diesem Vorbild hybride Nanostrukturen aus biologischen und nichtbiologischen Materialien aufzubauen.

Die Vision sieht den Menschen als den Schöpfer, der sich eine neue Welt aus diesen kleinsten Bausteinen zusammen setzt, ja möglicherweise sogar neues Leben aus Atomen schaffen wird.⁴⁷ Es wird bereits an synthetischen Lebensformen durch Kombination von anorganischen Materialien mit Zellkulturen gearbeitet, in der Nanobiotechnologie sollen kleinste Strukturen Bakterien oder Zellen zu neuen Eigenschaften verhelfen und damit zur Konstruktion von künstlichen Organismen führen, die die Grenzen zwischen belebter und unbelebter Natur verwischen. Spekuliert wird auch bereits über verbesserte Menschen, ja sogar Maschine-Mensch-Systeme.

In der Nanobiotechnologie werden damit Lebewesen erneut zu Maschinen herunterdefiniert – oder Maschinen zu Menschen erhoben, je nach Perspektive. Die besondere ethische Herausforderung ist gerade diese neue Kombination aus einem naturwissenschaftlich-reduktionistischen mit einem mechanisch-technischen Weltbild. In dieser Nanobiotechnologie-Welt wird ein Streit darüber, ob die Welt in einer evolutionären Entwicklung oder durch ‚Intelligent Design‘ entstand, nicht mehr

rung von dominierenden Themen in jeweils unterschiedlichen Kontexten vorgenommen werden kann.

⁴⁷ Vgl. insbesondere Eric K. Drexler: Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology New York 1986. Siehe auch oben Anm. 37 und 38.

geführt werden: Das zukünftige ‚Intelligent Design‘ nehmen dann wohl Nanoroboter in die ‚Hand‘!⁴⁸

Die von der Nichtregierungsorganisation ETC Group im Jahr 2004 erhobene Forderung nach einem Moratorium des Einsatzes der Nanobiotechnologie in Analogie zu dem Moratorium in den Anfängen der Gentechnik konnte sich nicht durchsetzen. Die Organisation warnt weiterhin vor der öffentlich bisher wenig beachteten, aber sich weiter entwickelnden Forschung im Grenzbereich zwischen Nanotechnologie und Biotechnologie.⁴⁹

Auch wenn in diesem Anwendungsbereich der Nanotechnologie sicherlich die Fantasie noch eine größere Rolle als die tatsächliche Machbarkeit spielt, sollte die Entwicklung der Nanobiotechnologie von Anfang an sorgfältig beobachtet und mit ethischen Beurteilungen begleitet werden. Das Beispiel der gentechnischen Entwicklung verdeutlicht, dass es von großer Bedeutung ist, dass die ethische Beurteilung nicht Jahre hinter der naturwissenschaftlichen Entwicklung hinterherhinkt.

Von großer Wichtigkeit scheint es zu sein, die tatsächliche Machbarkeit von völlig überzogenen Versprechungen und Visionen zu trennen. So hat beispielsweise die Offenlegung der Fälschungen des südkoreanischen Stammzellforschers Hwang um den Jahreswechsel 2005/2006 zu einer wesentlich nüchterneren Diskussion um die Chancen und ethischen Probleme im Bereich der embryonalen Stammzellforschung geführt. Ein erneuter „Hype“, beispielsweise das Versprechen, mit Hilfe einer Kombination aus Nanotechnologie und der Gewebezucht aus embryonalen Stammzellen in naher Zukunft funktionsfähige Organe züchten zu können, sollte vermieden werden.

Im Bereich der Medizin ist darauf zu achten, dass Nutzen und Risiken einer Therapie mit Nanopartikeln im Vorfeld sorgfältig abgewogen und von Ethikkommissionen begleitet werden. In der Geschichte der Medizin wurden medizinische Innovationen häufig von Fehlschlägen begleitet, bis eine neue Therapie etabliert werden konnte. Es sollte aber vermieden werden, vorschnell am Patienten zu arbeiten und bestehende Risiken zu unterschätzen, wie dies in einigen Fällen der Gentherapie der Fall gewesen ist.

Ein besonderes Augenmerk sollte auf Ansätze gerichtet werden, bei denen auch eugenische Absichten erkennbar sind. Der Übergang einer ethisch zu rechtfertigenden Therapie hin zu einer „Verbesserung“ des Menschen kann ebenso wie im Be-

⁴⁸ In den Niederlanden steht mit dem Nanotechnologen Cornelis (Cees) Dekker eine prominente Figur im Zentrum der von ihm angestoßenen Diskussion um das von ihm vertretene Intelligent Design.

⁴⁹ NanoGeoPolitics, ETC Group Surveys the Political Landscape, ETC Group Special Report – Communiqué No. 89, 2005, www.etcgroup.org

reich der Gentherapie auch bei der Nanobiotechnologie fließend erscheinen. Hier steht die ethische Beurteilung in einer besonderen Verantwortung.

7 Schlusswort

Die Nanotechnologie ist eine neue Querschnittstechnologie, die sich bereits heute, zukünftig jedoch in noch viel stärkerem Maße auf unser tägliches Leben und unsere Gesundheit auswirken wird. Um zu vermeiden, dass Anwendungen der Nanotechnologie die Studie „Late lessons from early warnings“ um einige neue Beispiele von Gesundheits- oder Umweltgefahren erweitert, deren Risiko nicht rechtzeitig erkannt und denen nicht rechtzeitig begegnet wurde, ist eine konsequente Technikfolgenabschätzung und Risikoforschung vor dem Hintergrund einer Verantwortungsethik mit einem angemessenen wissenschaftlichen und finanziellen Aufwand unabdingbar.

Die öffentliche Wahrnehmung sollte nicht nur auf die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten und Zukunftsoptionen gelenkt werden, sondern es sollte auch eine intensive gesellschaftliche Risikokommunikation stattfinden. Wichtig ist es, den Dialog nicht nur mit informierten Akteuren aus Wissenschaft, Technik, Industrie, Behörden und NGOs zu suchen, sondern auch die breite Bevölkerung ausgewogen zu informieren. Bei der Erstellung von Informationsmaterialien sollte der Risikokommunikation und der Diskussion von ethischen Betrachtungen ebenso Raum gegeben werden wie der Darstellung von technologischen Zukunftschancen. Nur dann ist gewährleistet, dass diese Technologie angemessen implementiert wird. Die Theologie hat hier ebenso ihren Beitrag zu leisten wie Philosophie und Ethik.

Die öffentliche Wahrnehmung der Nanotechnologie darf nicht nur auf die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten und Zukunftsoptionen gelenkt werden. Vielmehr muss eine intensive gesellschaftliche Risikokommunikation stattfinden.

Die vorliegende Publikation gibt einen verständlichen Überblick über die vielfältigen Anwendungsbereiche der Nanotechnologie und weist insbesondere auf mögliche Risiken für Gesundheit und Umwelt hin. Sie zeigt bestehende Defizite bei der Technikfolgenabschätzung und bei der Regulation der Anwendung der neuen Technologie auf. Abschließend werden ethische Bewertungsmaßstäbe aus christlicher Perspektive entwickelt.

Die Arbeitsgemeinschaft der Umweltbeauftragten der evangelischen Landeskirchen (AGU) steht Forschung und Innovation grundsätzlich positiv gegenüber. Allerdings warnt sie vor einer allzu großen Euphorie angesichts der vielen offenen Fragen in Bezug auf mögliche Risiken. Beim Einsatz der Nanotechnologie sollte nach dem Vorsorgeprinzip vorgegangen werden. Die Abschätzung der Risiken von Nanopartikeln für Gesundheit und Umwelt muss sorgfältige Berücksichtigung bei der Entwicklung neuer Verfahren finden. Dies gilt in besonderem Maße für Anwendungen in der Medizin und in der Biotechnologie.



ISBN-10: 3-939-115-06-1

ISBN-13: 978-3-939-115-06-9