

Wolfgang Nethöfel

Integrierte Innovation'  
*Das Risiko-Chancen-Profil der Nanotechnologie als wegweisendes  
Beispiel*

Als theologischer Sozialethiker interessiert mich die Nanotechnologie unter zwei Gesichtspunkten. Erstens sollen wir als Angehörige der christlichen Traditionsgemeinschaft „der Stadt Bestes“ suchen (Jeremia 29,7), und das finden wir am sichersten, indem wir bei Veränderungen in unserer Gesellschaft eine anwaltliche Funktion wahrnehmen und für die sprechen, die sonst keine Stimme hätten (nach Sprüche 31,8). Es geht also um eine gesellschaftliche Orientierung, die am Schluss Nanotechnologie wirksam regelt. Ich gestehe aber, dass mich ein zweiter Aspekt mehr bewegt: Ich bin als Theologe fasziniert von der Kreativität, die sich in Theorie und Praxis im paradigmatischen Kern der Nanotechnologie manifestiert.

Ich bin froh, dass sich in unserer interdisziplinären NanoGroup Marburg beide Aspekte überschneiden. Wirksame Regulierung, das ist meine auf gemeinsamer Erfahrung beruhende Überzeugung, muss im

---

1 In diese Textfassung sind Ergebnisse der Plenumsdiskussion und von Gesprächen im Anschluss an den Iserlohner Vortrag eingearbeitet, für die ich meinen Gesprächspartnern danke. Moraltheorietisch gesprochen stellt uns die Nanotechnologie (wie Innovationen überhaupt) vor einen Problemtyp, der nur durch kreative Abduktion' (U. Eco) zu lösen ist. Da wir daran exemplarisch lernen können, uns angesichts des Neuen zu orientieren, indem wir uns um die Kohärenz eines inneren und eines äußeren ‚Überlegungsgleichgewichts‘ bemühen (J. Rawls nach N. Goodman), unterscheide ich im Folgenden nicht zwischen Regeln und Prinzipien (vgl. einführend Tabori 1999, 2002).

paradigmatischen Kern der Nanotechnologie ansetzen und sie muss prinzipiell auch vor dem Horizont möglicher (Patent-)Schutz- und Förderungsmaßnahmen bedacht werden. Bei diesem von der Forschung geradezu vorangetriebenen (science driven) Innovationsprozess können wir exemplarisch das in ökologischen Zusammenhängen beobachtete Zusammenwirken von Regulatory-push- und Regulatorypull-Effekten beobachten (Fischer et al. 2006). Dann aber verweist die Nanotechnologie als Beispiel auf unseren Programmbegriff 'Integral Innovation': integrale, integral entwickelte und integrierbare Innovation. Ich möchte dies in vier Schritten erläutern, wobei ich bei der umstrittenen Frage ansetze, ob wir überhaupt eine eigene Nanoethik brauchen (1). Ich skizziere nanospezifische Problem- (2) und Lösungsprofile (3) und ziehe dann ein Fazit, indem ich eine Regulierung und einzelne Regeln vorschlage, die dem sich abzeichnenden Nanoprofil gerecht werden sollen und vielleicht nicht nur diesem. Der Fokus unserer Arbeitsgruppe ist nicht Nanotechnologie, sondern Innovation (4).

### *1 Brauchen wir eine Nanoethik?*

*„Most contradictorily discussed was a general requirement for a nano-specific regulation “ (Meili 2006, S. 16).*

An der Frage, ob die alten Regulierungen für die neue Nanotechnologie ausreichen oder nicht, entscheidet sich, wie man dazu steht. Welche Gründe gibt es, sich so oder so zu entscheiden?

#### *1.1 Nein!*

*„Die Rede von einer eigenen Nanoethik erscheint übertrieben “ (Grunwald 2004, S. 71).*

Armin Grunwald gibt den breiten Konsens der Ethikzunft wieder, die sich mit diesem Anwendungsbereich beschäftigt. Und man kann dieses Nein kategorial ausdifferenzieren bis hin zu einem ethischen Pen-

---

dant jener Nulldefinition der Nanotechnologie, nach der diese nur der gemeinsame Name unterschiedlicher Technologien ist, die im Nanobereich zusammenwirken. Wenn sich jedes einzelne Nanoproblem prinzipiell mit den alten Regeln und Institutionen gesellschaftlich beherrschen lässt, dann gilt nach oben': Wir brauchen keinen neuen Ethiktyp. Wir brauchen aber auch keine Nanoethik als neue Bereichsethik, denn

*„ environmental ethics supply an appropriate framework to begin to consider many of the most salient ethical issues surrounding emerging nanotechnologies " (Preston 2005, S. 38).*

Dies impliziert dann nach unten', dass wir auch keine neuen nanotechnologischen Teilbereichsethiken brauchen. Das bestätigen Johann Ach und Norbert Jömann für die Nanobiotechnologie, deren in Umrissen erkennbare Problembereiche neben der Umweltproblematik am genauesten prospektiert wurden:

*„Die meisten der ethischen und sozialen Herausforderungen der Nanobiotechnologie ... sind aus anderen Diskussionen bekannt" (Ach/Jömann 2005, S. 208).*

Und dies schließt wiederum ein, dass wir auch keine neuen Querschnittsethiken entwickeln müssen, obwohl sich z. B. für den Regulierungsbereich nanotechnologische Medizinethik durchaus neue Konsellationen in einzelnen Regelungsbereichen abzeichnen.

## *1.2 Ja!*

Zwar wird die Gegenthese, dass die Nanotechnologie die Gesellschaft vor eine kategorial neue Orientierungsaufgabe stellt, kaum von der Ethikzunft vertreten. Und ich gehe hier bewusst nicht auf apokalyptische Szenarien ein, die ja umfassende Abwehrstrategien ganz oben' geradezu provozieren sollen. Aber die kanadische ETC Group hat ja als Ergebnis einer konvergierenden Nanorisiko-Einschätzung immerhin ein generelles Nano-Moratorium gefordert (ETC Group 2003a, 25, 72; 2003b). Und es gibt Krisensignale und Warnsignale aus dem Um-

feld der bisherigen Regelungen, die auf eine Besonderheit dieser Technologie verweisen könnten. Ich stelle Beobachtungen aus unterschiedlichen Bereichen zusammen.

#### Die Schwierigkeit einer Nanodefinition

Was ist das überhaupt, was als Nanotechnologie' zu regeln ist, und woran kann man erkennen, was dazugehört und was nicht? Statistiker und Versicherungen müssen das wissen, Gesetzgeber und Richter, wenn es um die Reichweite von Gesetzen und Haftungsbestimmungen geht. Aber auch eine Öffentlichkeit, die wissen will, woran sie mit der Nanotechnologie ist, muss von einer klaren und handhabbaren Definition ausgehen können. Stattdessen erfahren wir:

*„Nanotechnologie handelt von funktionalen Systemen, die von Untereinheiten mit spezifischen, größenabhängigen Eigenschaften der Untereinheiten oder eines Systems aus diesen Gebrauch machen " (Decker et al. 2004, S. 13; vgl. Schmid et al. 2006, S. 17).*

Dieser Definitionsvorschlag der Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen' ist keine systemtheoretische Absurdität, sondern er dokumentiert das Problem, das sich im Spektrum definitorischer Alternativen verbirgt. Die Intension: der Begriffgehalt der vorliegenden Definitionen reicht ‚von oben‘ von der schon erwähnten Nulldefinition über die bloße Größenbereichsbestimmung und deren Kombination mit Quantenphänomenen über die systemische Bestimmung als Schlüsseltechnologie (und deren Bestreitung) bis hin zu vollständig umstrittenen Konzepten, in denen die Nanotechnologie als Konvergenzwissenschaft neu bestimmt wird.

Die Intension einer Definition legt aber auch die Extension fest: Wir erhalten Kriterien, um von unten' aus jedes Mal zu entscheiden, was drinnen und was draußen ist. Hier liegt die Pointe jenes zusammenfassenden Definitionsversuches der Europäischen Akademie. Nach einem Überblick über vorliegende Definitionen schlägt diese eine Verfahrenslösung vor. Ihre Formulierung fasst einen Prüfalgorithmus zusammen. Man soll nach einem festen Schema Kandidat für Kandidat

---

daraufhin untersuchen, ob bei kontinuierlichen Größenveränderungen im Nanobereich plötzlich neue Eigenschaften auftauchen.

Spätestens wenn aus der unten feststellenden' eine von oben herab , festsetzende' Definition geworden ist, manifestiert sich ein neues Problem: Das in der Öffentlichkeit weithin bekannte Lotusphänomen, auf das sich auch die Werbung immer wieder bezieht, wäre selbst kein Nanophänomen, denn hier liegen keine Quantensprünge vor. Und die Nanobiotechnologie wird im Ganzen problematisch. Hier sind die in Frage stehenden Systeme durchweg zu groß.

Diese Konsequenzen sind kontraintuitiv. Aber der Akademieversuch verweist damit voraus auf Anwendungsschwierigkeiten in verschiedenen Regelungsbereichen, die bei der Verwendung anderer Definitionen erst recht zu erwarten sind. Wenn sich die Regulierung der Nanotechnologie an ihnen orientiert, könnte sie den zu regelnden wissenschaftlichen, technologischen und ökonomischen Zusammenhang ganz oder teilweise verfehlen oder seine Kontinuität zerschneiden (Nethöfel 2006). In der Endversion ihres Berichtes schlägt die Europäische Akademie neue Unterscheidungen vor. Man muss genauer zwischen Nanowissenschaft und den intendierten technologischen Anwendungen differenzieren. Und in der Praxis muss man mit der Unterscheidung zwischen Nanotechnologie im engeren und im weiteren Sinn leben (Schmid et al. 2006, S. 17f., 19, vgl. S. 62ff.).

### Überforderungssymptome gegenwärtiger Regulierungssysteme

Das Neue muss sich begründen. Diese allgemeine Klugheitsregel gilt für die Nanotechnologie. Sie gilt aber auch für die Forderung, diese mache selbst neue Regelungen erforderlich, nachdem sie nun einmal irgendwie da ist. Allerdings kann der Verweis auf die geltenden Regeln nicht wirklich beruhigen. Denn der Umkehrschluss von der Normalität der Nanorisiken auf die Verlässlichkeit der herkömmlichen Sicherungssysteme ist gegenwärtig wenig überzeugend. Es häufen sich vielmehr Überforderungssignale aus allen einschlägigen wissenschaftsbasierten Regulierungssystemen. Vielleicht ist die neuzeitliche Trennung von Faktum und Geltung und die darauf aufbauende moderne Regulierung durch nationalstaatlich organisierte Verfahren sogar im Ganzen in eine Systemkrise gekommen. Nanotechnologie wäre

dann die letzte Gelegenheit zum Umdenken, weil sie der Tropfen sein könnte, der das Fass zum Überlaufen bringt.

Die neuzeitliche Regulierungskrise betrifft einmal die *Technikfolgenabschätzung (TA)*.

*„ Technology assessment is now widely known in the government, policy, and business communities in the United States, although it is virtually unpracticed ” (Coates/Coates 2002, S. 99f).*

So schreiben die Mitbegründer dieses Verfahrens. Über das auch andernorts zu beobachtende faktische Versagen hinaus wird aber angesichts ihrerseits wissenschaftsgetriebener Entwicklungen prinzipiell nach der Einwirkungsmöglichkeit der herkömmlichen Methoden und Techniken gefragt. Können angesichts der Komplexität, der Spezifität und der Geschwindigkeit neuer Entwicklungen Toxizitätsbestimmungen rechtzeitig folgen? Ist institutionelle Regulierungslast verarbeitbar? Ist die erforderliche Regelungsgeschwindigkeit gewährleistet? Sind die Regeln auf einem globalen Markt durchsetzbar? Die TA reagiert darauf mit konzeptionellen Änderungen, deren Rückwirkungen auf die bisher ausgearbeiteten Einzelprozeduren und Erfahrungen noch kaum bedacht sind: vom nachträglichen Assessment über die forschungsbegleitende TA zum nun endlich vorlaufenden vision assessment' (Grin/Grunwald 2000). Wie soll das aber in einer eingreifenden Regelungspraxis aussehen, und was sagt das über die bisherige Praxis aus?

Sodann ist an die bei der Nanoforschung stets involvierte *Innovationsforschung* zu denken. Auch hier stellen sich gegenwärtig wissenschaftstheoretische und praktische Fragen zugleich. Wäre sie überhaupt fähig, etwas kategorial Neues zu erfassen? Auf der Makroebene tobt der Streit um die Wirksamkeit innovationspolitischer Steuerungsinstrumente im Allgemeinen und um die Kondratjef-Zyklen im Besonderen (Freeman/Perez 1988). Hat das Neue in der Ökonomie aber überhaupt charakteristische Muster, und wenn ja, wie wäre es auf der betriebswirtschaftlichen Ebene zu erfassen? Auffällig schweigsam wird die Innovationsforschung in beiden Bereichen, wenn es um die

---

Evaluation der mitunter aufwendigen Studien geht. Ist die Innovationsforschung überhaupt fähig, eingreifendes Wissen zu generieren?

Das lässt schließlich nach der Regulierungsfunktion unseres *Wissenschaftssystems* im Ganzen fragen. Die Schwierigkeiten interdisziplinärer Zusammenarbeit wirken sich ja bereits innerhalb der Nanotechnologie aus. Eine funktionierende und sachgemäße Regulierung technologischer Zusammenhänge setzt aber darüber hinaus Transdisziplinarität voraus: der fachwissenschaftliche Diskurs muss sich prinzipiell offen halten für das Fachwissen, die Erfahrungen, die Hoffnungen und die Ängste von Laien. Dann geht es nicht mehr nur um die Schwierigkeit, eine Vielzahl unterschiedlich codierter Informationen zu verarbeiten, sondern das sich von oben' durch die jeweils in Geltung stehenden Paradigmen regelnde System wird von unten' her als Ganzes in Frage gestellt (Mittelstraß 2005). Wie sollen die Ergebnisse solcher Stakeholderdialoge überhaupt in die Praxis angewandter Grundlagenforschung eingehen, die Innovationen so vorantreibt, wie es nach übereinstimmender Meinung bei der Nanotechnologie der Fall ist?

### Die Nanorisiko-Analysen der Versicherungen

Wenn alle Stricke reißen - ist es gut, versichert zu sein. Das wird aber im Fall der Nanotechnologie schwierig werden.

*„Die Anwendung nanotechnischer Produkte und Verfahren kann eine veränderte Dimension von Personen-, Sach- oder Vermögensschäden sowie Haftpflichtrisiken, z. B. in den Bereichen Produkt-, Umwelt- und der Betriebshaftpflicht, bewirken " (Münchener Rück 2002, S. 7; vgl. Allianz AG/OECD 2005).*

Die Versicherungen verweisen darauf, dass Latenzschäden drohen, d. h. dass wie beim Asbest Nanostoffe und -produkte schon jahrelang gewirkt haben könnten, ehe der Schaden erkannt und abgestellt werden kann. Bei der Vielzahl massenhaft verbreiteter Produkte drohen ‚von unten‘ aber gleichzeitig auch Serien- und Nanoschäden, die beim selben Versicherer kumulieren‘ - noch vor der ebenfalls nicht auszuschließenden Nanokatastrophe.

,Von oben' kippen traditionelle Risikokalkulationen der Versicherer, weil

*„die Nanotechnologie zur Kategorie der revolutionären Risiken mit ursächlich nachweisbarer Schadenfolge" gehören könnte (Swiss Re 2004, S. 40).*

Denn dann ist ein potenzielles Risiko nicht mehr auf eine Klasse von Versicherungsnehmern umzurechnen, mit deren Prämiensumme der Schaden Einzelner gedeckt ist. Ein versicherungstechnisch nicht mehr beherrschbares 'Änderungsrisiko' ergibt sich auch dann, wenn sich die Haftungsbedingungen ändern, weil Öffentlichkeit und Politik auf die Nanotechnik im Ganzen nach den ersten Schadensmeldungen ähnlich reagieren sollten wie bei der Atom- und Gentechnik (Münchener Rück 2002, S. 10).

Einerseits liegen hier zwar in vielen Fällen Kalkulationen über Spekulationen vor. Darauf wird auch in den Studien deutlich hingewiesen. Andererseits kann man aber nicht einfach unterstellen, hier würde spekuliert, um die Prämien bei den Produzenten in die Höhe zu treiben. Schließlich kalkulieren hier ja Rückversicherer, die nur dann zahlen müssen, wenn wiederum selbst kalkulierende Versicherungsgesellschaften im wirklich eingetretenen Schadensfall zahlen.

### *1.3 Nanospezifisch!*

Dieser Praxisbezug führt zu Fragen, die wir in der Regulierungstheorie zu selten stellen. Wer liest die Studien und Regelwerke (außer denen, die Anträge schreiben, um neue Studien zu schreiben)? Wer ändert nach der Lektüre seine Praxis? Könnten bei einer Art Turing-Test Experten ein Nano-Regelwerk, das von anderen Experten (für viel Geld) erarbeitet wurde, zum Beispiel von einem Biotechnik- oder von einem Non-sense-Regelwerk, sagen wir: über Sphären-Ökologie, unterscheiden, in das ein Computerprogramm an die entsprechenden Stellen Nanotechnologie-Bezeichnungen eingefügt hätte? Schließlich: Haben wir Evaluation und Controlling bei Regelungen so etabliert, dass sie im konkreten Fall: wie in des Nanotechnologie feststellen könnten, dass sie das bewirken, was wir damit bewirken wollen?

---

Tatsächlich sind bei genauerer Betrachtung sämtliche Entscheidungsknotenpunkte im Regulierungsbereich umstritten: Muss die Nanotechnologie nicht doch Verfahrensänderungen nach sich ziehen? Gibt es vielleicht neue Regulierungsvorgaben, die sich aus einem eigenen Nanobereich oder aus sich überschneidenden Objektbereichen her ableiten lassen? Brauchen wir nicht doch neue Grenzwerte, neue nationale, internationale, globale Nanogesetze oder einen ganz neuen Typ von Regelungen - womöglich mit institutionellen Konsequenzen?

Solche Fragen lassen sich ohne nanospezifische Betrachtungen nicht beantworten. Wenn man aber nach dem Spezifischen fragt, dann verweist meiner Meinung nach die Definition der Europäischen Akademie trotz ihrer Schwierigkeiten im praktischen Gebrauch am genauesten auf das spezifische Profil der Nanotechnologie. Gerade die Infragestellung des jeweiligen Systemzusammenhangs, die Problematik jener spezifischen Sprünge ist der gemeinsame Fixpunkt aller nanotechnologischen Intentionen. Um in der Praxis gesellschaftlicher Orientierung auf der Spur der Nanotechnologie bleiben zu können, schlage ich vor, von folgender Definition auszugehen:

*Nanotechnologie ist der technische Umgang mit Systemgrenzen.<sup>2</sup>*

Das ist eine notwendige, keine hinreichende Bestimmung. In unterschiedlichen Zusammenhängen tritt zwar ein gemeinsames Profil nanotechnologischer Probleme und Lösungen hervor. Das versuche ich im Folgenden zu zeigen. Aber die Lösung technischer wie ethischer Probleme der Nanotechnologie ist an eine Voraussetzung gebunden: Nanotechnologie setzt die Benennung und die funktionale Erfassung einer Grenzkonstellation voraus. Ihr Erfolg ist an die spezifischen Informationen gebunden, die dabei gewonnen werden. Sie intendiert die Anwendung solcher spezifischer Grenzinformationen, und daher kann Nanotechnologie nur durch grenzsichere Orientierungsmuster reguliert werden. Einige solcher Regeln, die von oben' und von unten', d. h. inter- und transsystemisch funktionieren, werde ich am Schluss vorstellen. In diesem Kontext können wir besser über die Frage diskutieren, ob wir eine spezifische Nanoethik brauchen. Kriterien für diese

---

<sup>2</sup> Das ist - neben dem Hinweis auf die integrierten Überprüfungsverfahren - die andere Pointe der endgültigen Definition der Europäischen Akademie: Die angestrebte Funktionalität „provides criteria for defining System boundaries" (Schmidt et al. 2006, S. 24f.).

Entscheidung aber ergeben sich nur aus der Kenntnis nanospezifischer Probleme und Lösungen.

## *2 Nanospezifische Probleme*

Es gibt Hinweise auf nanospezifische, Probleme, die an Systemgrenzen auftauchen. Man kann nanospezifische Probleme des Ökosystems (2.1), nanomedizinische Risiken (2.2) und Nanoprobleme im Gesellschafts- und Kultursystem unterscheiden. Die Frage ist, ob sich die verschiedenen Indizien und Bausteine zu einem Nano-Risikoprofil zusammenfügen.

### *2.1 Nanorisiken im Ökosystem*

Die Sicherheitsprobleme von Nanopartikeln lassen sich als Grenzprobleme des *Ökosystems* zusammenfassend charakterisieren. Die ökologische Maxime lautet, dass alles, was koexistiert, sich evolutionär bewährt hat. Synthetische Nanopartikel sind also begründungspflichtig.

Natürliche Nanopartikel sind in der Regel wasser- oder salzlöslich oder sie agglutinieren. Bei den synthetischen Nanopartikeln erkennt man vor diesem Hintergrund, dass sie sich durch ihre Durchdringungsfähigkeit auszeichnen. Sie können in vielen Milieus transportiert werden, so dass sie potenziell ubiquitär verbreitet werden könnten. Hinzu kommt - bei den synthetischen Kohlenstoffverbindungen - ihre Ultrastabilität. Kombiniert man das mit der fast schon per Definition gesetzten Schwierigkeit, diese Partikel zu orten und zurückzugewinnen, kann man das systemisch zusammenfassen zu einem - freilich hypothetischen - Nano-Kolloidrisiko: ultrafeine, ultrastabile, ubiquitäre Dispersion. Bei einigen nanotechnisch isolierten Partikeln muss man als Variante dieses Risikos eine neuartige Reaktionsfähigkeit in Rechnung stellen, die sich in neuen Milieus in unbekannter Weise auswirken kann. Dann treten als weitere Risikomerkmale die NichtIntendiertheit und die mindestens eingeschränkte Kontrollierbarkeit der neuen Stoffkonstellationen hinzu.

---

Auf das Risiko toxischer Wirkungen gehe ich anschließend ein. In anderer Weise nanospezifisch ist jedoch das Risiko, das mit intendierten Katalyse- und Enzymfunktionen von Nanopartikeln einhergeht. Von fern droht natürlich sofort Drexlers ambivalente Faszination durch Nano-Assembler (die sich selbständig machen könnten). Aber man sollte sich davon frei machen und das Risiko ins Auge fassen, dass nanotechnologische Prozesse unkontrolliert Prozess-Schleifen etablieren könnten, dass sich Hyperzyklen stabilisieren und komplexere Systemfunktionen mit beeinflussen oder generieren könnten, die sich im Körpermilieu der Kontrolle entziehen. Da darüber hinaus an der Grenze zu sich selbst erhaltenden Lebensprozessen protolebendige Stoffwechsel entstehen könnten, kann man von einem - wieder spekulativen - Autokatalyse-Autopoiese-Risiko der Nanotechnologie sprechen.

Wir bewegen uns dabei schon im Grenzbereich der Medizin. Aber bereits vor der ökologischen Hintergrundperspektive zeichnen sich nanospezifische Risikokonstellationen ab. Nanopartikel thematisieren in charakteristischer Weise die Grenzen physikalischer, chemischer und biologischer Systeme. Allerdings in dem präzisen Sinn, dass sich genau an diesen Stellen Fragen neuer Art häufen. Es gibt wenig belastbare Antworten und es ist ebenso wenig klar, wo - parallel dazu - bei einer genaueren Risikoanalyse Entwarnung gegeben werden kann.

## *2.2 Nanomedizinische Risiken*

Es ist längst nachgewiesen, dass Nanopartikel alle biologischen Systemgrenzen überwinden können (Mathiowitz et al. 1997). Und es häufen sich Indizien, dass einige Stoffe gerade durch ihre nicht intendierten nanospezifischen Eigenschaften schädigend wirken könnten (Ell 2006; vgl. [www.dialog-nanopartikel.de](http://www.dialog-nanopartikel.de)). Im Bereich der medizinischen Risiken reicht eine rein biologische Betrachtungsweise jedoch nicht aus, obwohl sich hier bereits zusätzliche Komplexitätsstufen zeigen, wenn wir den menschlichen Körper unter diesem Gesichtspunkt ins Auge fassen.

Annabelle Hett erläutert im Nanopapier der Swiss Re das potenziell Neuartige nanotechnologischer Risiken am Beispiel der teilweise sich

überlagernden Körperabwehrsysteme (Swiss Re 2004, S. 15-26). Da sich bestimmte Versuche bei Menschen verbieten, ist es oftmals nicht möglich, die spezifische Schädlichkeit von Nanopartikeln nachzuweisen, die aufgrund ihrer potenziell höheren chemischen Reaktivität ebenso postuliert werden kann wie aufgrund ihrer Nicht-Abbaubarkeit. Aber überall, wo man die Wirkungsweise der Haut, die verschiedenen Schutzsysteme des Blutkreislaufs, die Blut-Hirnschranke, die Erkennungs- und Wirkungsweise der Immunsysteme genauer ins Auge fasst, erscheint es plausibel, dass sie durch Nanofunktionen gefordert werden - möglicherweise, aber das ist bisher abermals Spekulation, sogar selbst wiederum systemisch: als interagierendes Gesamtsystem, das insgesamt unter anwachsendem Nanostress an seinen internen Grenzen kollabieren könnte.

Das alles ist aber nun vor allem deshalb prekär, weil Nanofunktionen ja nicht zuletzt zum *targeting*' eingesetzt werden. Jene Abwehrsysteme sollen gerade unterlaufen werden, um damit Wirkstoffe gezielt an bisher gar nicht oder nicht mit der jetzt möglichen Präzision erreichbare Krankheitsherde zu bringen und dort ohne die bisher bekannten Nebenwirkungen einzusetzen. In anderen Fällen ist synthetische Nanostabilität die Voraussetzung für das gezielte Wachstum neuer Nervenzellen. Man muss medizinisch abwägen - und eben dadurch erweist sich der menschliche Körper als ‚Leib‘. Selbst eine ganz eng interpretierte medizinisch-fachliche Entscheidung ist hier unmöglich, ohne die Lebensperspektive des Betroffenen einzubeziehen.

Dann aber sind mit versicherungstechnischen, rechtlichen, wirtschaftlichen, kulturellen Aspekten fast alle Funktionssysteme der Gesellschaft nanotechnologisch thematisiert. Kann es bei den überkommenen Abwägungen bleiben, oder lassen sich auch hier nanospezifische Problemkonstellationen erkennen, die neue Lösungen erfordern?

### *2.3 Gesellschaftliche Nanoprobleme*

Es gibt jedenfalls eine auffällige Häufung von problematischen Grenzkonstellationen der Nanotechnologie. Fassen wir von unten' die Natur-Gesellschaftsgrenze ins Auge, erkennen wir, dass Regelungen Institutionen überfordern, wenn innerhalb eines Innovationsprozesses

---

Grenzwerte und Nachweisgrenzen verschwimmen. Eben dadurch geraten aber auch Versicherungslösungen unter einen spezifischen Stress. Zwar gilt generell, dass ein versicherter noch kein verhinderter und nicht immer ein ersetzter Schaden ist. Aber solche Differenzierungen setzen, wie wir gesehen haben, mit dem Haftungsrisiko eine zurechenbare Vermeidungsmöglichkeit und die mögliche Orientierung an Kontrollgrößen voraus.

Droht hier eine nanotypische Koppelungskatastrophe, so lässt sich auf der anderen Seite der Natur-Gesellschaftsgrenze das Risiko einer Abkoppelungskatastrophe erkennen, in der sich die medialen, politischen und rechtlichen Reaktionen auf einen Nano-Schadensfall von der gesellschaftlichen Ursache lösen und systemisch verselbständigen.

Genauer könnte man von einer jederzeit möglichen Nano-generic-Katastrophe oder plastischer von einem drohenden Nano-AsbestClash sprechen. In der jetzigen Durchsetzungsphase nanotechnologischer Innovationen könnte ein einziger Schadensfall alle Nanoprodukte für große Verbrauchergruppen schlagartig ähnlich oder auch: genauso prekär erscheinen lassen wie Gentechnik-Produkte. Ein einziger Vorfall kann zur Kommunikationskatastrophe werden und Nanotechnologie nach dem negativen Vorbild der Atomenergie-Technik zum Thema ideologiefälliger Grundsatzdebatten machen.

In Analogie zum digital divide markiert ein Nano-Divide - der systemische Ausschluss ganzer Nationen, Kulturen, Regionen oder Schichten vom nanotechnologischen Wissen und Können - ein nanospezifisches Grenzproblem, das zum globalen Risiko werden kann. Und zwar nähert man sich ihm nanotypisch von beiden Seiten. Das amerikanische NBIC-Programm (Abb. 1) hat Furore gemacht, weil hier ‚Nano-, Bio-, Info- und Cogno-Science‘ zusammenwirken sollen als *Converging Technologies for Improving Human Performance*‘ (siehe dazu auch den Beitrag von Fleischer in diesem Band): Konvergenztechnologien, mit deren Hilfe der Mensch - der Kranke, der Konsument, nicht zuletzt: der Krieger - leistungsfähiger gemacht werden soll.

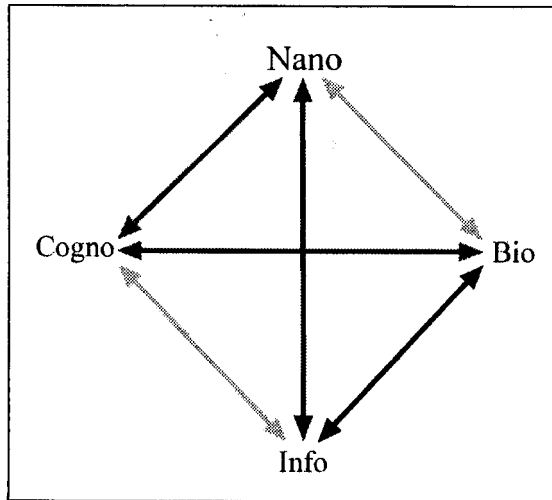


Abb. 1: NBIC-Tetrahedron (Quelle: Roco/Bainbridge 2003, S. 2)

### Das NBIC-Mantra lautet:

*„If the Cognitive Scientists can think it, the Nano people can build it, the Bio people can implement it, and the IT people can monitor and control it.“*

Man kann über die Zielsetzung des Programms empört sein. Aber die eigentliche Herausforderung liegt woanders. Das zu Grunde liegende Funktionsmodell macht wirksamer als jede Definition Nanotechnologie zur Grundlage eines neuen Paradigmas angewandter Forschung. EU-Konzeptionen, die darauf reagierten, schlugen ursprünglich vor, den Konvergenz-Ansatz durch einen radikalisierten Enabling-Ansatz zu überholen, um ihn zu überwinden. ‚Nano-Bio-Info-Cogno-SocioAnthro-Philo-Geo-Eco-Urbo-Orbo-Macro-Micro‘: wenn immer mehrere dieser Wissenschaften nach einer gemeinsamen Agenda zusammenwirken, sollten sie gefördert werden. Stattdessen kombiniert der Siebte Rahmenplan allerdings nun vergleichsweise konservativ die

---

3 Roco/Bainbridge 2003, S. 13 (nach einem Ausspruch von W. A. Wallace auf der in dem Band dokumentierten Konferenz).

Förderung der Nanotechnologie mit einer EU-konformen Begleitforschung, wobei hier nun umgekehrt gefragt werden muss, ob dann wirklich in jedem Fall Konvergenz im Sinne des NBIC-Ansatzes gefördert wird.

Wir haben es dabei mit einer Bottom-up- und einer Top-DownAngst auf beiden Seiten des Nano-Divide zu tun, die sich in spezifischer Weise kreuzen: Im Kontext des NBIC-Programms will man sicher gehen, indem man angesichts der Bedrohung durch nanoterroristische Potenziale auf Sicherheit durch nanotechnologischen Vorsprung baut. In der EU fürchtet man eher die Unsicherheiten durch die Nebenfolgen des Nano-Divide: sie könnte terroristische Intentionen auslösen. Im amerikanischen NBIC-Programm wird eine neue Art der Non-Proliferation durch beibehaltenen Vorsprung nahe gelegt. Die Europäische Union will durch ihre Fördermaßnahmen einen NanoDivide gerade verhindern. Hierin sieht sie wohl mit Recht den besseren Weg angesichts einer präziser diagnostizierten Gefahr.

#### *2.4 Problemkonstellation einer Nanokultur*

Die Möglichkeiten der Nanotechnologie scheinen nach oben' die kulturell stabilisierten und stabilisierenden Grenzen des Menschlichen in Frage zu stellen. Mit den Grenzen seiner Leiblichkeit könnte seine kulturelle Identität und mit dieser nach unten' die gesellschaftliche Stabilität gefährdet sein. Das apokalyptische Cyborg-Szenario, in dem Mensch-Maschinenwesen die Herrschaft übernehmen, beginnt mit notwendigen Kosten-Nutzen-Abwägungen im medizinischen Bereich und mit eben jener NBIC-Verheißung, die Leistungsfähigkeit des menschlichen Körpers zu erhöhen. Ich erörtere die spezifische NanoGrenzlogik an der Stelle, wo die Nanotechnologie heute im War against Aging' den Staffeln von den Transhumanisten übernimmt.

Der Biologe de Grey und der Informatiker Kurzweil kommen, gewissermaßen auf Kondratjeff-Wellen surfend, zu der Erkenntnis, dass mit dem Nanozeitalter die entscheidende Wende im Kampf gegen den Tod gelingen könnte (de Grey 2004; Kurzweil/Grossman 2004). Wenn man den exponentiell ansteigenden Erkenntnis- und Fähigkeitszuwachs der Menschheit in geeigneter Weise mit ihrer ebenfalls ex-

ponentiell steigenden Lebenserwartung kombiniert, dann lässt sich ein im Wesentlichen nanotechnologischer Zentrifugaleffekt prognostizieren, mit dem die Menschheit Alter und Tod ebenso entfliehen kann, wie sie durch Raumfahrt die Schwerkraft der Erde überwunden hat. Die Verheißung lautet:

Wer heute jünger als ca. 50 ist, wird - wenn er seinem Leben nicht selbst ein Ende setzt - mit Hilfe neuer Technologien sein Leben so lange verlängern können, dass er in der jeweils verbleibenden Zeit mit neu erfundenen Technologien sein Leben wieder solange verlängern kann, dass er für immer und ewig im grünen Bereich des Lebens verbleibt (Abb. 2). Und die Menschheit wird dabei mit Sicherheit Zeit genug haben, sich in aller Ruhe der Folgeprobleme anzunehmen (vgl. Röpke 2004).

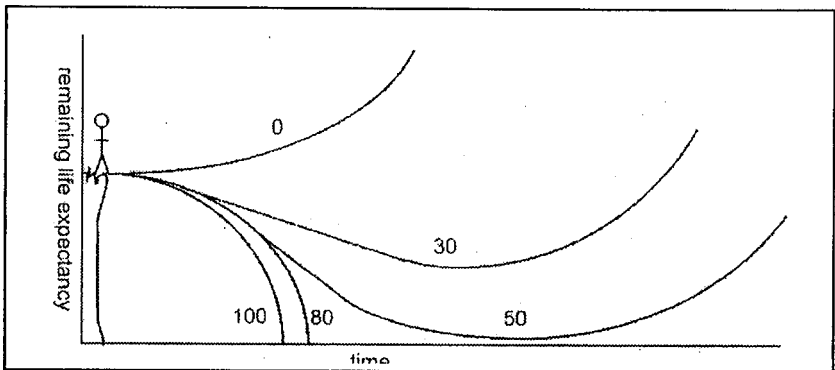


Abb. 2: Todesflucht-Geschwindigkeit (Quelle: de Grey 2004, S. 725)

Ein Menschheitstraum wird wahr durch Nanotechnologie - oder ein Alptraum. Aber geht da alles mit rechten Dingen zu? Das zu Grunde liegende Modell kombiniert den quantitativen und den qualitativen Aspekt durch die Verwendung der Unendlichkeitsvorstellung und konstruiert dadurch etwas Neues. Diese konstruktive Durchbrechung der Grenze von innen ist das Prinzip der Nanotechnologie. Allerdings wird dabei ein Trick angewandt, den sensible Geister im Netz wiederum als typisch theologisch denunzieren. Bereits in der Einführung der Null sehen sie eine Verschwörung, mit der die Theologie sich selbst

---

begründet. Normale' Menschen hören auf zu zählen, wenn sie nichts mehr unterscheiden können (vgl. Orthuber 2004). Gerade der im Nanodialog geschulte Theologe wird heute freilich genau so gegen jenes Modell argumentieren: Die Menschen müssten nicht immer mehr, sondern etwas Bestimmtes rechtzeitig wissen und können, um die Grenzhülle zu durchbrechen, die ihrer Existenz die Lebensform gibt. Hier angekommen, ist aber die Frage unabweisbar, die uns von Anfang an begleitet hat: Entsprechen den nanospezifischen Problemlagen nicht überall Lösungsansätze, die auf den immer in gleicher Weise ansetzenden Zangen-Zugriff nanotechnologischer Verfahren im Grenzbereich von Systemen reagieren?

### *3 Nanospezifische Lösungen*

In verschiedenen Bereichen, genauer: in verschiedenen Grenzregionen scheint das der Fall zu sein. Hier zeichnen sich nanospezifische Problemlösungen ab. Ich erläutere das ausgehend vom Konzept der inhärenten Sicherheit im Bereich sich überlagernder natürlicher Systeme (3.1), ausgehend vom Engagement der Versicherungen im Nano-Risikoassessment über die Grenzen gesellschaftlicher Funktionssysteme hinweg (3.2) und schließlich am Systeme integrierenden Marburger Modell des Idealen Investors im Nanobereich (3.3).

#### *3.1 Transsystemische Nanosicherheiten im Ökosystem und im medizinischen Bereich*

Dass „unten viel Platz“ ist, bedeutet, dass bestimmte Vorgänge dort mit Sicherheit niemals geschehen werden; sie sind naturwissenschaftlich ausgeschlossen. Das in der Atom-Debatte bemühte Prinzip der inhärenten Sicherheit gilt auch im Nanobereich. Viele präzisierbare Befürchtungen für die *ökologische* Systemstabilität lassen sich durch vorhandene oder erlangbare Informationen zerstreuen. Nanospezifisch ist hier der Ausschluss ganzer Ereignisklassen bzw. die Entwarnung vor bestimmten Typen von Nanomaschinen, die nie gebaut werden können, weil die entsprechende Energie- oder Informationsdichte sich

prinzipiell nicht erreichen lässt. Andere Gefahren lassen sich durch einfache Konstruktionsregeln verhindern: durch systemische Kontextbegrenzungen oder indem man bei der Herstellung von Nanoprodukten zwischen passiven und aktiven Systemen unterscheidet. Dann kann man durch die Trennung von Energiezufuhr und Funktion nicht nur ganze Klassen von Nebenwirkungen ausschließen, sondern auch nicht intendierte Replikationen. Die Drexler-Smalley-Debatte zeigt hier beides: dass man einerseits gute Argumente erhalten kann, um Horrorszenarien auszuschließen, dass man aber dabei auf präzisierbare Befürchtungen angewiesen bleibt (Bueno 2004). Die Ergebnisse dieser Debatten sind nicht trivial, oft für beide Seiten neu und nicht mit einer einfachen Entwarnung vor den Risiken der Nanotechnologie im Ganzen zu verwechseln: sie zeigen auch im Detail ein nanospezifisches Profil.

Dies setzt sich über die *Nanobiologie* hinaus in den Bereich der *Nanomedizin* fort, allerdings wiederum in spezifischer Weise. Hier stehen Nano-Risikoabwägungen ja in einem Kontext, der von ‚unten‘, d. h. von der bisherigen Praxis im Umgang mit neuen Medikamenten und Verfahren herkommend, bereits stark geregelt ist. Unter der Voraussetzung, dass die Funktionssysteme oben‘ noch oder schon wieder nanostabil sind, scheint es dann kennzeichnend zu sein, dass man sich vorläufig an ‚mittleren Axiomen‘ orientieren kann: Wenn kein anderer gefährdet ist und wenn der Betroffene zustimmt, dann soll gelten: „Wer heilt, hat recht“. Der nanomedizinische Fortschritt kann sich in diesem Zwischenbereich also zunächst an medizinischer Evidenz und den Standardregeln orientieren.

Allerdings präzisieren sich durch diese Lösung die Fragen an die anderen Funktionssysteme. Sind die Haftungs- und Versicherungsregelungen, ist das Wirtschafts- und Rechtssystem nanostabil? Und gilt das auch für die kulturelle Orientierung der Menschen, die innerhalb dieser Systeme zu entscheiden haben? Gibt es dort ebenfalls Hinweise auf Nanolösungen für Nanoprobleme?

### 3.2 Transsystemische Nanosicherheiten in der Zivilgesellschaft

Die *versicherungstypische* Nanolösung scheint eine Differenzierung zu sein, die Funktionssysteme zugleich koppelt und entkoppelt. Das Grundmuster zeigt sich bereits in der Unterscheidung von möglichen, realen, haftungsrechtlich erfassbaren, versicherbaren und versicherten Schäden (Abb. 3).

In dieser Tradition hat man auch zunächst versucht, das Nanorisiko zu kalkulieren. Und dabei haben sich eben durchaus nanospezifische Muster abgezeichnet. Weil Nanoprodukte bereits weit verbreitet sind, aber jeweils hoch spezifisch produziert und distribuiert werden, wird man die Verantwortung für die dann möglicherweise nicht mehr selten eintretenden hohe Schäden ziemlich genau Herstellern, Vertreibern und Anwendern zuordnen können (Abb. 4).

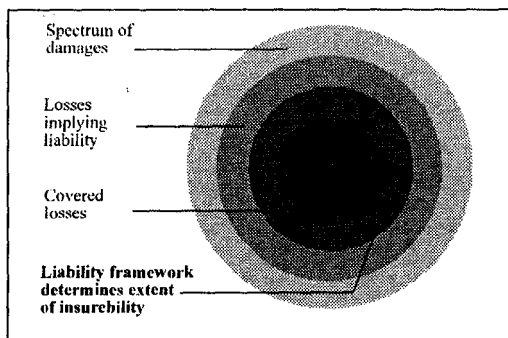


Abb. 3: Versicherbarkeit im Haftungskontext  
(Quelle: Meili 2006, S. 19)

Es ist genau diese Vorkalkulation, die die Versicherungswirtschaft dazu bewegen hat, auf das Nanorisiko mit einer neuen Differenzierung zu reagieren. Beim proaktiven Risikomanagement geht es darum, die Eintrittswahrscheinlichkeit und durch ein impliziertes Katastrophenmanagement auch die Schadenshöhe derart zu begrenzen, dass die

Versicherungen schließlich nur noch ein Restrisiko versichern müssen - und können (Münchener Rück 2002, S. 15; vgl. Meili 2003, S. 34ff.). Spätestens die dadurch erforderliche Kooperation aller Beteiligten ist dann nanospezifisch.

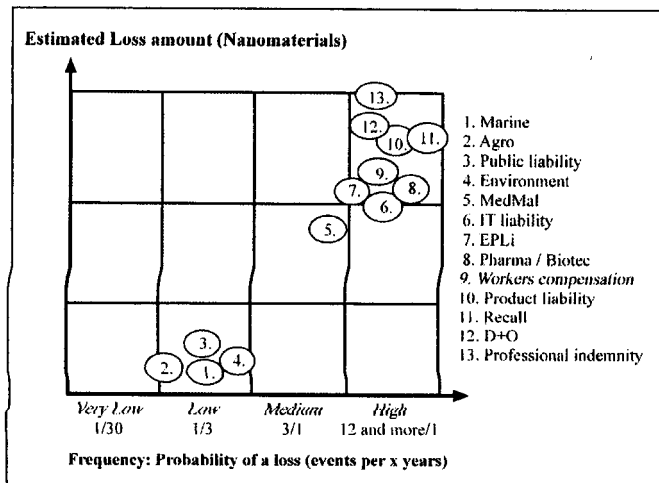


Abb. 4: Nano-Versicherbarkeit im Haftungskontext  
(Quelle: nach Münchener Rück 2005 bei Meili 2006, S. 19)

Das zeigt sich spätestens dann, wenn sich bei der Betrachtung der, *Societal and Ethical Implications of Nanotechnology*' creative engineering' als kennzeichnende Nahtstelle innerhalb der gesellschaftlichen Funktionssysteme erweist. Joachim Schummer hat anhand einer Nanoveröffentlichungs-Analyse Themen, Akteure und ihre Bedeutung für den gesellschaftlichen Wandel untersucht. Das zunächst erstaunliche Ergebnis ist, dass die Gruppen der Nanowissenschaftler mit ihrem Fachwissen, der Toxikologen und Umweltwissenschaftler mit ihren fachwissenschaftlich begründeten Bedenken, der Politiker und der Medien, aber auch wir Kultur- und Sozialwissenschaftler als relativ unwichtig ausscheiden. Wichtig bleiben die Ängste und Hoffnungen der Geschäftsleute sowie die sich gegenseitig inspirierenden Visionen der Science-Fiction-Autoren und der Transhumanisten - weil es im kreativen Kern der Nano-Entwicklungen eben um den Austausch von Inspirationen geht zwischen ihnen und den Ingenieuren mit Vision'

---

(Abb. 5). Ihnen kommt für die weitere Entwicklung der Nanotechnologie eine Schlüsselrolle zu (Schummer 2004).

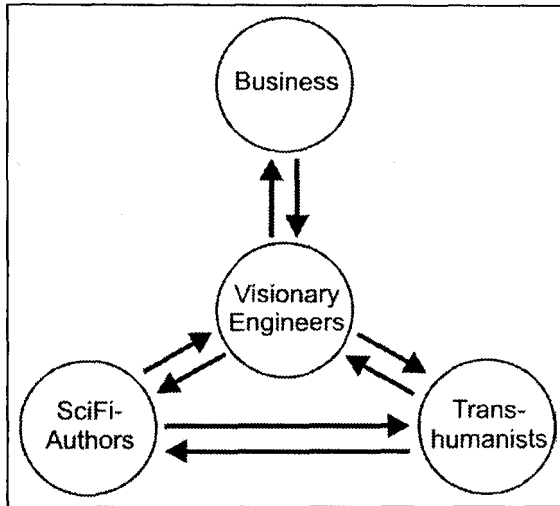


Abb. 5: „Visionary alliance in the debate an societal and ethical implications of nanotechnology“ (Quelle: Schummer 2004, S. 81)

Entwicklung ist aber hier die Sache selbst. Und eine Kooperationsstruktur, die diese Dynamik kooperativ integriert, hätte uns dann schließlich auf den Weg einer sachgemäßen und wirksamen Nanoregulierung geleitet, die sich am Nanoprofil orientiert.

#### *4 Orientierung am Nanoprofil*

Überblicken wir das Spektrum nanospezifischer Probleme und Lösungen, so zeichnet sich jeweils am Schluss und spätestens beim Vergleich durchaus ein gemeinsames Profil ab. Im Überblick tritt zudem die Lego-Logik der Nanobausteine hervor, die funktionieren, indem sie die Spannung an Systemgrenzen nutzen, um diese stabil zu überbrücken. Eben hieran werden wir uns aber von Anfang an orientieren müssen, wenn wir nach zugleich präzise passenden und stabilen Rege-

lungen für den gesamten Regulierungsbereich Nanotechnologie suchen.

Ich gehe zunächst auf jene Bausteine als Dritte Größen ein (4.1). Da sie grenzstabile Regeln ermöglichen, könnten sie sich als Voraussetzung einer Regulierung erweisen, die dem Nanoprofil gerecht wird. Ich mache dazu Vorschläge (4.2) und frage vor diesem Hintergrund noch einmal nach der Notwendigkeit einer eigenen Nanoethik (4.3).

#### *4.1 Nano-Orientierung an Dritten Größen*

Es gibt gemeinsame Merkmale aller profilbildenden Knotenpunkte bei Nanoproblemen und Nanolösungen: Erstens erweist sich jedes Muster, das dort auffällt, als Teil eines übergreifenden Risiko- und Lösungsprofils. Zweitens: Indem die konkret benennbaren Profilbausteine mit ihrem spezifischen Muster Systemgrenzen überbrücken, erzeugen sie die Informationen, ohne die sich die jeweils intendierten nanotechnologischen Funktionen letztlich nicht realisieren - oder nicht zuverlässig kontrollieren lassen. Und drittens verweisen Informationen wie Muster letztlich auf jene diskreten Zustände oder disruptiven Ereignisse im Kernbereich der Nanotechnologie, die dort gern als 'Sprünge' bezeichnet werden und als definitorisches Merkmal der Nanotechnologie gelten. So kann man von jedem Teil her mehr oder minder gut auf die Nanotechnologie unserer Gesellschaft und unserer Kultur schließen, wie sie sich hier und jetzt entfaltet und die wir hier und jetzt mitgestalten: ob wir uns entscheiden oder nicht, ob wir dabei versagen oder ob uns dies gelingt.

Wir haben es also mit einer Art Nano-Hologramm zu tun. Hologramme sind sehr störungsresistent und überlieferungsstabil, und sie erlauben eine Annäherung von allen Seiten. Sie werfen allerdings spezifische Orientierungsprobleme auf, wenn sie etwa uns in unterschiedlichen Funktionssystemen unserer Gesellschaft mehr oder weniger deutlich entgegentreten und wenn wir versuchen, sie deutlicher werden zu lassen, indem wir uns ihrer Mitte nähern. Die gibt es eben nicht. Dennoch habe ich in unserer NanoGroup gelernt, mich von den Effekten her, die die Nanotechnologie in anderen Funktionssystemen auslöst, immer neu auf die eigentlichen Nano-Aktivitäten zu konzent-

---

rieren und mich daran zu orientieren. Das ist notwendig um der Menschen willen, die hier wie dort von möglichen Regelungen betroffen oder auf sie angewiesen sind - und das gelingt, wenn man sich hier wie dort auf die Menschen konzentriert und sich von ihnen auf den Weg zur Sache führen lässt, die sie bewegt und die sie bewegen. Dann zeigt sich, dass die Rede vom Nano-Hologramm weder eine Metapher noch eine bloße Analogie ist. Sie verweist darauf, dass unterschiedliche menschliche Aktivitäten nicht nur durch Kontiguität und Kontinuität miteinander verbunden sein können, sondern auch durch gemeinsame Orientierungsmuster. Diese sind nach allem, was wir wissen, holographisch gespeichert. Aber im Fall der Nanotechnologie wissen wir mehr.

Quantensprünge, von Elementzahlen abhängige Einsätze von Nanofunktionen, aber auch zunächst scheinbar skalenabhängige Nanofunktionen sind die digitale Reduktion eines Gestaltmusters, das durch die Messanordnung wesentlich mitbestimmt ist. Die Nanotechnologie orientiert sich selbst im Kernbereich durch eine Art Dopplereffekt, indem sie zum einen in einem kontinuierlichen, Intentionen, Incentives und Erfahrungen verarbeitenden Verfahrenszusammenhang diese Anordnungen weiter entwickelt, zum anderen von diesen nicht beliebigen technischen Voraussetzungen aus immer wieder neu Oberflächen als Systemgrenzen ins Auge fasst. Die -Feinjustierung gelingt hier nur durch Dritte Größen: Einheiten die intern wie Rene Thoms' katastrophentheoretisches Modell aufgebaut sind.

In ihm erweisen sich Sprünge auf der Kontrollebene stets als Projektionen von unzugänglichen Falten' der Verhaltensoberfläche eines übergeordneten Systems (Abb. 6). Man erkennt dessen charakteristische Eigenschaften nur, wenn man aus der Ameisenperspektive austritt, nicht auf diesen Falten' als dichten Oberflächen herumspaziert, sondern sie aus der Distanz als Diskontinuitäten thematisiert. Diese aber versteht man wiederum nur, wenn man sie von den Systemeigenschaften her als unendlich porös, als immer neu sich öffnende Löcher zwischen den Systemelementen interpretiert. Im einen wie im andern Fall ermöglicht ein anderes Verhalten einen Dimensionssprung der eigenen Wahrnehmung und erschließt etwas Neues'.

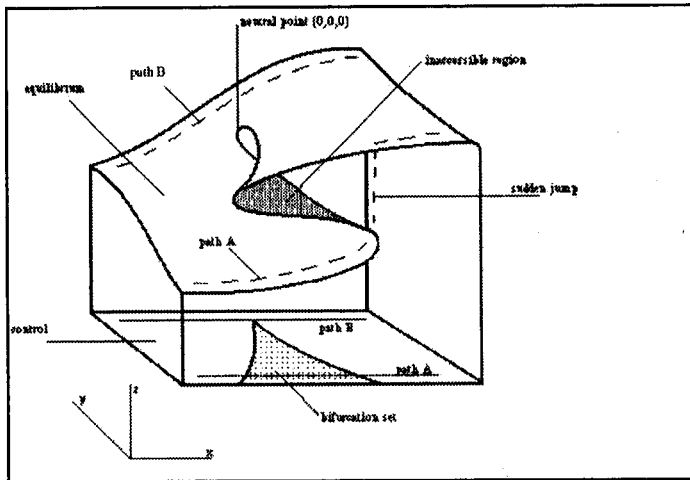


Abb. 6: Kontrollebene und Katastrophenraum  
 (Quelle: van der Maas/Molenaar 1992, S. 397; reproduziert mit Erlaubnis der American Psychological Association)

Das heißt gerade nicht, dass dies etwas rein Subjektives, nicht Reproduzierbares ist. Vielmehr erweist sich jene ‚hinkende Alternative‘ über eine Systemgrenze hinweg als kennzeichnend für einen bestimmten Erkenntnistyp. Wir müssen dabei über eine Systemgrenze blicken, weil das intendierte Objekt seine spezifischen Informationen nur im Kontrast zweier sich ergänzender oder sich überlagernder Kontexte zu erkennen gibt. Die eine Grundoperation, die Luhmanns mathematischer Gewährsmann Spencer Brown als „Draw a distinction“ beschrieben hat, lässt die ‚Laws of Form‘ in und zwischen allen Systemen hervortreten. Die Anweisung bedeutet nämlich eigentlich, Hintergrund und Vordergrund zu unterscheiden. In der Regel und im Alltag halten wir allerdings den Hintergrund stabil und orientieren uns nur an unterschiedlichen Merkmalen der Form im Vordergrund. Erst wenn die spezifischen Informationen eines angrenzenden oder eines umgrenzten Systems in einem Kontext interpretiert werden, der gemeinsamen Systemeigenschaften gerecht wird, erscheint etwas Neues in einem neuen Licht. Dazu muss innerhalb einer Reißverschlussstheorie die Perspektive ‚von oben‘ mit der ‚von unten‘ verzahnt werden. Wir operieren über Dritten Größen, die den qualitativen und den quantitativen Aspekt

miteinander vereinen. Das setzt eine spezifische Verzahnung von Reflexions- und Kontrolltheorie voraus: eine Reißverschluss-theorie, für die die konstruktive Verwendung der mathematischen Unendlichkeitstheorie konstitutiv ist.

Vielleicht verweist diese Theorie sogar auf den kreativen Grundzug der Wirklichkeit überhaupt. Die Wirkung einer Orientierung an Dritten Größen scheint darauf hinzuweisen. Bei der Nanotechnologie ist diese Orientierung zum Wirkungsprinzip geworden. Das erklärt ihre besondere Faszination, macht aber auch die Gleichzeitigkeit von Wirkungsmöglichkeit und Risikoträchtigkeit der Anwendung verständlich, die wir in ihrem Kontext durchgängig beobachten. Jenes Modell erlaubt jedenfalls von jedem beliebigen Anwendungsfall aus die Hinorientierung in Richtung auf das kreative Zentrum dieser Technologie. Denn als charakteristisch in unterschiedlichen Kontexten erweisen sich immer wieder die spezifischen Überlappungen, die eben durch die Nanobausteine gewährleistet werden. Die kulturellen Horizonte, die die Nanotechnologie eröffnet, machen sich an den institutionellen Rahmenbedingungen fest, in denen sich die Nanotechnologie entfaltet hat und diese stützen sich auf technologische Voraussetzungen, die sich immer mehr verdichten, bis sie zu den Produktions- und Laborbedingungen der Nanotechnologie selbst werden.



Abb. 7: Nano-,Blasenmodell' (Quelle: nach Fleischer in diesem Band, S. 53)

Bei den charakteristischen systemischen Verkettungen und Überlagerungen im ‚Blasen-Modell‘ (Abb. 7) des nanotechnologischen Zu-

sammenhangs sind es jedes Mal bestimmte Intentionen der Beteiligten, die das Gesamtprofil der Nanotechnologie prägen. Im Zentrum fällt allerdings eine Entscheidung darüber, was allen anderen möglich sein wird. Hier wird die entscheidende Weiche gestellt, weil' sich im Praxiskontext angewandter Forschung eine dieser Intentionen so präzisiert hat, dass man sich modelldefinierten Grenzgestalten von Systemen mit einer bestimmten Hypothese nähern kann. Diese verpufft nicht mehr im diffusen Hintergrund weiterhin möglicher Ausdifferenzierungen im unendlich Kleinen. Entweder dieser verschließt sich einem schroffen Nein - oder eine Türe öffnet sich, und der Fragende erhält die Auskunft, die er braucht, um die intendierte Funktion realisieren zu können - auch und gerade dann, wenn sich hinter jener ersten Türe immer neue öffnen, in denen bereits hier unten' jene Ausgangsinformation stets neue Bedeutungsdimensionen enthüllt (und neue Anwendungsmöglichkeiten sich eröffnen).

Man könnte daher gerade vom Beispiel der Nanotechnologie ausgehend Defizite der angewandten Innovationsforschung überwinden und mehr über Innovation und über die Struktur und damit über Förderungsmöglichkeiten von Innovationsprozessen lernen. Was wir aber jetzt schon wissen müssen und wissen können: Eine eingreifende Regelung setzt die Orientierung an Dritten Größen voraus, die wie bei einer Münze immer einen Namen und eine Zahl unauflöslich verbinden müssen, wenn sie orientieren, d. h. gelten und wirken sollen.

#### *4.2 Regelorientierung am Nanoprofil*

Das für die Nanotechnologie grundlegende Prinzip des Erkenntnisgewinns an Systemgrenzen weist uns auf den Weg der Induktion und es verweist uns gleichzeitig auf das Nanoprofil im Ganzen. Wir müssen den hinkenden Alternativen' folgen, die wir bei nanospezifischen Lösungen beobachten und vor die uns nanospezifische Probleme stellen. Dritte Größen und Reißverschlussverfahren machen dies möglich. Sie zeigen aber auch, warum eine Regelung, die stattdessen ausschließlich über ein- und ausgrenzende Definitionen operiert, am systemübergreifenden Nanoprofil ins Stolpern geraten muss, während wir dennoch auf die Kontinuität von regelnden Verfahren und auf regelnde Organi-

---

sationen angewiesen bleiben, die deren Qualität, ja deren Kultur dauerhaft gewährleisten. Die offene Frage ist, ob und gegebenenfalls wie wir im Falle der Nanotechnologie auch den Regulierungstypus und den Typus der regelnden Organisationen modifizieren müssen, damit einzelne Regeln greifen können. Ich will das nicht weiter kategorial analysieren und ins Grundsätzliche vertiefen, sondern zum Zwecke der ethischen Verständigung Knotenpunkte benennen, wo meiner Ansicht nach angesichts von Alternativen, die jetzt schon sichtbar geworden sind, Empfehlungen auf der Hand liegen. Ich fasse dazu die bisherigen Ergebnisse zu der Regulierungsmaxime zusammen, dass Nanoregulierung die Verwendung Dritter Größen nicht ausschließen darf, konkrete Nanoregelungen (als Praxis wie als Regelwerke) sich an ihrer Anwendung orientieren und einzelne Regeln sie so oft wie möglich anwenden sollten.

### Nanoregulierung

Regelsetzende Organisationen sollten sich in der gegenwärtigen Situation an der Versicherungswirtschaft orientieren. Immer da, wo nicht genügend Informationen zu Verfügung stehen, sollte gelten:

*Im Zweifel für Nano-Risikomanagement!* Man muss hier keinen Paradigmenwechsel fordern und auch keine Sonderregelung für die Nanotechnologie verlangen. Aber man kann durchaus von einer strategischen Alternative sprechen, die die bisherige institutionelle Monopolposition der klassischen TA in Frage stellt. Zwar ist auf institutionelle Kontinuität zu achten, aber dabei geht es eben nicht um eine bloße Fortschreibung des Alten, sondern um dessen Anschlussfähigkeit.

*Nanoregulierung sollte die interne und externe Kohärenz der Nanoregelungen sichern.* Interessanter sind die institutionellen Konsequenzen, die erkennbar werden, wenn regelnde Institutionen anstreben, überall da ein Nano-Risikomanagement sicherzustellen, wo ein Nano-Risikoassessment nicht sicher ist. Das Regulierungsprinzip *der fortlaufenden Kohärenz* erzwingt dann den Übergang vom Vorsorgeprinzip zum Nano-Regulierungsprinzip vorlaufenden Handelns. Das *proactive principle* positioniert die Nanoregulierung genau zwischen eine Regulierung, die dem *precautionary principle* folgt, und eine Regulierung nach dem *proactionary principle*, die die Beweislast für verhindernde Regeln allein den Regulierern aufbürdet - unter der Vor-

aussetzung, dass diese Regulierung sich in der Folge über Dritte Größen am Nanoprofil ausrichten wird und Nanoförderung prinzipiell einschließt.

Darauf verweisen schon die Konsequenzen aus dem Raum- und Zeithorizont einer sachgemäßen und wirksamen Nanoregulierung. Wegen der Dynamik und der Reichweite der Nanoprozesse und der transsystemischen Tiefe, die das Nanoprofil bezeugt, gilt als Nano *Regulierungsprinzip* einerseits *der Universalisierungstest*:

*Nanoregeln sollten global gelten können.*

Andererseits gilt als *Nano-Regulierungsprinzip* der Rückmeldetest (*ging principle*): *Nanoregeln sollten controllingfähig sein.*

### Nanoregelung

Im Übergang empfiehlt sich die *Orientierung von Nanoregelungen an Axiomen mittlerer Reichweite* (*middle axioms*'), die einerseits an bewährte Regelungen anknüpfen, andererseits das transsystemische Nanoprofil abtasten wie ein Rastertunnel-Mikroskop (RTM). Die *durchgängige Orientierung an Dritten Größen* stellt hier sicher, dass dies mehr ist als eine Metapher. Wo die transsystemische Kontinuität nicht gewährleistet ist, verweist dieser Ausdruck mindestens auf eine *Analogie zwischen den regelnden Verfahren und den zu regulierenden Vorgängen*, an denen man sich beim Regulieren ebenso wie beim Regeln orientieren kann.

Wir sollten auf Nanorisiken mit Nanoregeln reagieren, aber uns dabei eher darauf konzentrieren, *vor dem Nanostaub die Nanofilter zu entwickeln* als zu versuchen, Nanosicherheit durch die NanoOrganisation von TA zu gewährleisten. Daraus ergeben sich vor allem Hinweise auf nano-adäquate institutionelle Regelungsstrategien. Sie betreffen die:

*Institutionalisierung von Rückmeldemechanismen für jede Nanoregelung.*•

- durchgängige Hinsicht und Aufsicht über Organisationen, die (regelnd) Nano-Risikomanagement betreiben;
- *durchgängige* Etablierung von *Regelungsevaluation*.

---

*Institutionalisierung von (Nano-Wissensmanagement als) Lernverfahren*, d. h. Etablierung von Lernprozessen, die aus Nanolösungen zuverlässig immer weiter reichende *stabile Nano-Orientierungsmuster generieren*:

- nach ‚unten‘: Regelorientierung an inhärenten Nanosicherheiten, Regelkoppelung zyklischer Nanofunktionen an Unterbrechungsmechanismen, Orientierung der Nanomedizin an sich bewährenden Heilmethoden (vgl. ‚Nanolösungen‘)
- nach ‚oben‘: funktionierende Absprachen, umfassende Bildung und Ausbildung der Nanoforscher und -techniker, vertrauenswürdige Nanokommunikation (s. u.).

*Institutionalisierung von Nano- Vorzugsregeln*:

- typologischer Vorrang für nanospezifische Regeln (s. u.; Test: *Jedes Nano-Regelwerk sollte eine nanospezifische Regel enthalten*)
- methodisch: *Verfahrensvorrang für die, creative engineers‘ (s. o.)*
- inhaltlich: *Ergebnisvorrang für die am meisten Betroffenen/ am meisten Bedürftigen*

### Nanoregeln

Etablierte Regeln lassen sich in Nanoregeln verwandeln, wenn sie über Dritte Größen auf Abschnitte des Nanoprofils ausgerichtet werden. Als Maxime kann hier die stets aktuelle Ruhrgebiets-Trainerweisheit gelten:

„Wichtig is aufm Platz“ (Adi Preißler).

Genau dies erfordert dann die Implementierung transsystemischer, transnationaler und transkultureller Bezüge. Für Regelwerke ergeben sich daraus pragmatische Regel-Testverfahren:

- Einige Nanoregeln sollten *nanospezifisch* sein. (Es sollte zu Störungen führen, wenn Nano-Namen gegen andere Namen ausgetauscht werden.)
- Einige Nanoregeln sollten *Zahl, Zeit-, Ort und Namensangaben* enthalten.
- Einige Nanoregeln sollten auf Trans National Actors verweisen (*TNA-Test*).

Gute Nanoregeln und deren Fortschreibung fördern durch transsystemische Kontakte die Organisationskultur in und die Vernetzung zwi-

schen regelnden und geregelten Organisationen. Das ermöglicht ein funktionierendes (und förderndes) Controlling durch einfache Tests.

- Nanoregeln sollten *regelmäßige Kontakte zwischen regelnden und geregelten Organisationen* erforderlich machen (*Terminkalender-Test*).
- Nanoregeln sollten auf beiden Seiten die *institutionalisierte Repräsentanz von Verbraucherverbänden, Anwendergruppen und Vertretern der Öffentlichkeit* erforderlich machen (*Einladungslisten-Test*).
- Nanoregeln sollten *direkte Kontakte zu dissidenten Einzelnen* erforderlich machen (*Adressbuch-Test*).

Nanoregeln sollten die Produktion und die Distribution von Nano-Erzeugnissen umfassend und sicher regeln.

- Was immer Nanoregeln im Einzelnen regeln: Es sollte *ausgeschlossen sein, dass ihnen auch nur ein einzelnes nanotechnisch hergestelltes Produkt im Anwendungsbereich entgeht* (*Container-Test*: zu sichern z. B. durch eine umfassende Auszeichnungspflicht und durch die weite' Definition der Nanotechnologie, die skalenabhängige Effekte erfasst; Schmid et al. 2006, S. 261-285: *Scaling Effects*).
- Wie immer Nanoregeln im Einzelnen regeln: Es sollte *ausgeschlossen sein, dass ihnen auch nur eine einzige schädigende Funktion entgeht, die z. B. durch die geltenden Regeln für neue Chemikalien erfasst ist* (*REACH-Test*; vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaften 2003; zu sichern durch Maßnahmen wie Life-cycle-Assessment).

Ich empfehle zusätzlich, sich gerade von einzelnen Regeln ausgehend immer wieder transsystemisch nach oben' und nach unten' abzusichern.

- Bleiben die Regeln *anschlussfähig an die Kontroll- und Reflexionsverfahren der Innovationsforschung?* (*Integral Innovation'-Test*; s. u.)
- *Orientiert oder desorientiert die Regel-Anwendung junge Nanowissenschaftler?* (Löst sie Blockaden aus, macht sie sie nachdenklich, fördert sie Bildungsprozesse?) (*Young Scientists'-Test*; s. u.)

Angelangt in den Niederungen nanotechnologischer Regel-Praxis: nur hier unten' nahe bei den Praktikern und im Kontakt mit Anwendern, Verbrauchern und einer kritischen Öffentlichkeit lässt sich wieder Sicherheit gewinnen. Das Vorhandensein bestimmter Regeln für die Nanotechnologie, deren formale Beschaffenheit und deren Funktions-

---

fähigkeit lassen sich durch einfache Tests, durch Abfragekataloge und durch die Überprüfung von Rückmeldemechanismen überprüfen. Vermutlich wird sich auch langfristig dieses Nanoregel-Controlling durch konventionelle Regulierung sichern und fortschreiben lassen. Jedenfalls gewinnen wir durch sauberes ethisches Handwerk Zeit, um weitergehende institutionelle Entscheidungen politisch solide vorzubereiten.

Wie sich am Schluss bereits andeutete, kann man aber auch in diesem Kontext mehr tun, als nur zu regeln, um besser auf eine von der Nanotechnologie geprägte Zukunft vorbereitet zu sein.

### Der Ideale Investor: ein Nano-Orientierungsmodell

Wir arbeiten in der Marburger NanoGroup am Innovationsthema, und ich bin sicher, dass wir durch die Konzentration auf die Nanotechnologie den gemeinsamen Algorithmus, der allen Innovationsvorgängen zu Grunde liegt, schneller auf die Spur gekommen sind, als dies offensichtlich in der klassischen Innovationsforschung der Fall ist. Bereits in unseren ersten Erfahrungen in inter- und transdisziplinärer Zusammenarbeit zeichnen sich Orientierungsalternativen ab, die über den sozialetischen Bereich hinausweisen. Zugleich können wir in diesem Kontext beispielhaft zeigen, wie die verschiedenen Regelungsaspekte der Nanotechnologie zusammenwirken können, um eine für Produzenten und Nutzer förderliche Nano-Orientierung der Gesellschaft wahrscheinlicher zu machen.

In der Marburger NanoGroup gehen wir wie die Europäische Akademie bei ihrem Definitionsverfahren der Nanotechnologie prinzipiell induktiv vor. Aber wir erproben Orientierungsmuster, die selbst von der Art Dritter Größen sind, um den Strukturgesetzen gerecht zu werden, die sich im nanotechnologischen Innovationsfeld insgesamt abzeichnen. Um die Kontinuität zum Verfahrensalgorithmus nanotechnologischer Innovationen zu gewährleisten, habe ich im Dialog und im Erfahrungsaustausch mit den anderen Mitgliedern der Marburger Nanogroup das sozialetische Modell des Idealen Investors' entworfen. Dieser integriert nicht nur die Stakeholderinteressen, wie sie sich im normalen Wirtschaftsprozess äußern. In unserem Nanomodul' muss er sicher sein, dass die Produkte aus integrier, d. h. sowohl wissenschaftlich erfolgreicher als sich auch gegebenenfalls rechtzeitig

innovationsethische Kern unserer epochalen Orientierungsprobleme zu Tage tritt, bietet sich nicht nur ein Ansatzpunkt zur besseren Bewältigung auch jener anderen Regelungsprobleme, die uns in unserer Übergangssituation bedrängen. Meiner Überzeugung nach haben wir uns gerade durch die nochmalige Konzentration auf ethische Aspekte der Nanotechnologie mit dem Innovations- zugleich dem Schöpfungsalgorithmus angenähert, an dem sich eine nachhaltig erfolgreiche Technologie orientieren sollte. Jenes Ergebnis kann man zwar auch anders deuten, aber es führt zurück zu unserer Ausgangsfrage.

### *4.3 Fazit: Brauchen wir eine Nanoethik?*

Brauchen wir also eine eigene, eine neue Nanoethik? - Ja und Nein. Ziel ethischer Institutionen kann nur die Herstellung einer gesellschaftlichen und kulturellen Metastabilität nach der Nanotechnologie sein. Die Gleichgewichtsschwankungen, die sie bereits jetzt verursacht, lassen auf eine spezifische Gestalt der Nanotechnologie schließen. Singuläre transsystemische Konstellationen bilden ein charakteristisches Profil. Adäquate Regelungsgrößen müssen darauf reagieren können, auch wenn die Regeln selbst nicht notwendigerweise nanospezifisch sein müssen. Allerdings muss das Ergebnis der Regulierung Nanotechnologie tatsächlich wirksam regeln können und sich

daran messen lassen. Es sind also nicht die einzelnen Regeln, sondern es sind schließlich die Regel 'setzenden Institutionen und die kontrollierenden Organisations-

onen, die ihren nanospezifischen Tauglichkeitstest bestehen müssen. Wo und wie immer wir den Gödeltest auch ansetzen, wir entgehen jenen hinkenden Alternativen' nicht, die uns unterwegs immer wieder auf konkrete Anwendungsfälle im Grenzgebiet bestimmter Systeme verwiesen haben. Wir müssen gemeinsam weiter überlegen, was das sich abzeichnende Problem- und Lösungsprofil im Kontext unseres politischen Systems bedeutet und welche Forderungen sich daraus ableiten lassen. Um diese durchzusetzen, sollten wir uns nach demselben

---

4 So würde ich meine in Iserlohn ausgesprochene Forderung nach nanospezifischen Regeln im Anschluss an die dort geführten Gespräche präzisieren.

selbst Regeln setzender Forschung hervorgehen, damit der politische und zivilgesellschaftliche Konsens für die Drittmittelbewilligung gewahrt bleibt. Gleichzeitig müssen die Produkte sowohl auf dem Markt nachgefragte Funktionen aufweisen können als auch Sicherheits-, Sozial- und ökologische Standards im sensiblen Umfeld einer neuen Querschnitt-Technologie erfüllen. Denn nur wenn die neuen Produkte sich auch als gesellschaftlich integrierbar erweisen, ist die Refinanzierung über den Kapitalmarkt gesichert.

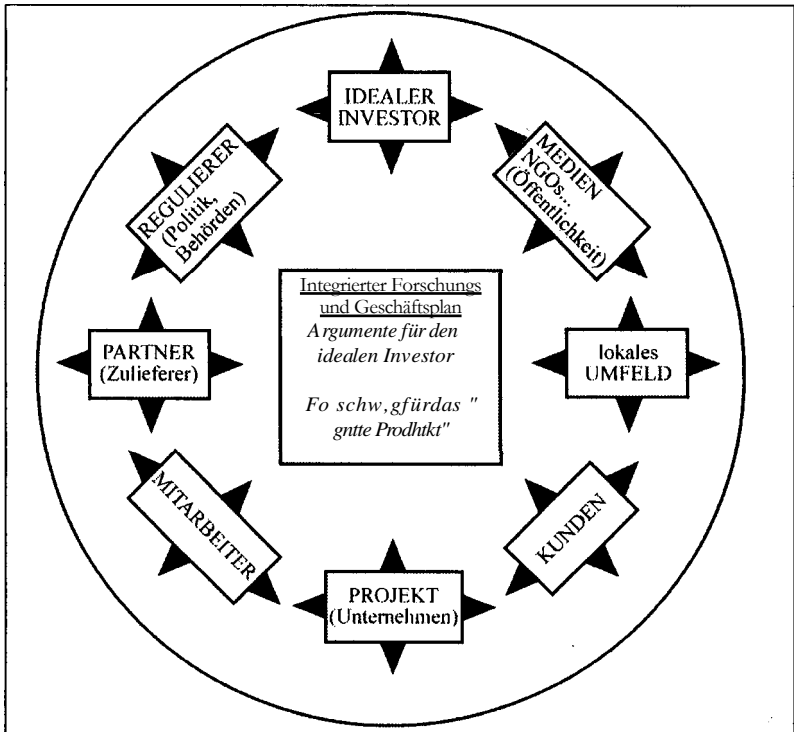


Abb. 9: Integral Innovation': Modell des Idealen Investors  
(Quelle: NanoGroup Marburg)

Die Antworten, von denen dieser Investor zu Recht überzeugt wäre, würden also im Nanobereich jeweils Qualität und Quantität messen und kontrollieren und so exemplarisch Integral Innovation' sichern. Die Leitvorstellung der Marburger NanoGroup funktioniert damit in einem Innovationsmodell! Denn in der Nanotechnologie, in der der

kooperativen Modell organisieren, das Versicherungen zur Begrenzung potenzieller Schäden vorschlagen.

Ich selbst kann mit diesem vorläufigen Ergebnis gut leben. Denn die entscheidende Frage lautet ja jedes Mal, nach welchen Maßstäben wir innerhalb dieses dynamischen Systems entscheiden, das sich da entfaltet, indem es uns involviert. Hier kann ich als Sozialethiker das kollektive Wissen unserer Traditionsgemeinschaft so einbringen, dass es die Nanotechnologie nicht mehr bloß reagierend, sondern vorlaufend orientiert. Unser Kulturkreis ist gut damit gefahren, dass die Grenzen des gesellschaftlichen Systems von außen und von unten, d. h. von den Interessen der Ausgegrenzten her, in Frage gestellt wurden. Das sollte uns dazu motivieren, die Interessen der nicht Anwesenden oder derjenigen, die sonst überhört werden, in die anstehenden Gespräche einzubringen. Ich bin davon überzeugt, dass es der Nanotechnologie nicht schadet, sondern nutzt, wenn ihr kreatives Potenzial in den Dienst der Gemeinschaft gestellt wird, in der diese so oder so Gestalt annehmen wird.

Dritte Größen verweisen auf das kreative Zentrum von Innovationsprozessen. Im geglückten Modell steuern sich diese selbst. Gute Regeln für die Nanotechnologie könnten zum Vorbild werden für die gesellschaftliche Orientierung von Innovationen. Die Chance, hier mitwirken zu können, betrachte ich als Geschenk.

### *Literatur*

Ach, J. S.; Jömann, N. (2005): Ethische und soziale Herausforderungen der Nanobiotechnologie. Eine Übersicht. In: Jahrbuch für Wissenschaft und Ethik 10. S. 183-213.

Allianz AG/OECD (Hrsg.) (2005): Small Sizes that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies. Report in Co-Operation with the OECD International Futures Programme. München, Paris.

Banse, G.; Grunwald, A.; Rader, M. (Hrsg.) (2002): Innovations for an e-Society. Challenges for Technology Assessment. Berlin.

Bueno, O. (2004): The Drexler-Smalley Debate an Nanotechnology: Incommensurability at Work? In: Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry 10 (2). S. 83-98.

Coates, J. C.; Coates, V. T. (2002): Next Stages in Technology Assessment: Topics and Tools. In: Banse, G.; Grunwald, A.; Rader, M. (Hrsg.): Innovations for an E-Society. Challenges for Technology Assessment. Berlin. S.-99-112.

Decker, M.; Fiedeler, U.; Fleischer, T. (2004): Ich sehe was, was du nicht siehst ... zur Definition von Nanotechnologie. In: Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis 13 (2). S. 10-16.

Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, G. et al. (Hrsg.) (1988): Technical Change and Economic Theory. London.

Ell, R. (2006): Ungiftiges kann in Nanoform giftig sein. In: VDINachrichten 8 (19. 5.). S. 8.

ETC Group (Hrsg.) (2003a): The Big Down: Atom Tech - Technologies Converging at the Atomic Scale. Winnipeg, Canada: Action Group an Erosion, Technology and Concentration.

ETC Group (Hrsg.) (2003b): No Small Matter II: The Case for a Global Moratorium' Size Matters!'. Winnipeg (=Occasional Paper Series 7 (1)).

Fischer, K. et al. (2006): Nachhaltigkeitskonzepte für Inovationsprozesse. Stuttgart.

Fleischer, T. (2006): Umgang mit den möglichen Folgen der Nanotechnoloigen. Aufsatz im vorliegenden Band. S. 55-67.

Freeman, C.; Perez, C. (1988): Structural Crises of Adjustment. Business Cycles and Investment Behaviour. In: Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, G. et al. (Hrsg.): Technical Change and Economic Theory. London. S. 38-66.

De Grey, A. (2004): Escape Velocity: Why the Prospect of Extreme Human Life Extension Matters Now. In: PLoS Biology 2 (6). S. 723726.

Grin, J.; Grunwald, A. (Hrsg.) (2000): Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society. Berlin, Heidelberg.

Grunwald, A. (2004): Ethische Aspekte der Nanotechnologie. Eine Felderkundung. In: Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis 13 (2). S. 71-77.

Kommission der Europäischen Gemeinschaften (Hrsg.) (2003): Vorschlag für eine Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und der Verordnung (EG) {über persistente organische Schadstoffe} v. 29. Oktober 2003 (604 final). Brüssel.

Kurzweil, R.; Grossman, T. (2004): Fantastic Voyage. Live Long Enough to Live Forever. Emmaus, PA.

van der Maas, H. L. J.; Molenaar, P. C. M. (1992): Staged Cognitive Development: An Application of Catastrophe Theory. In: Psychological Review 99 (3). S. 395-417.

Mathiowitz, E.; Jacob, J. S.; Jong, Y. S. et al. (1997): Biological Erodable Microspheres as Potential Oral Drug Delivery Systems. In: Nature 386 (6623). S. 410-414.

Meili, C. (2006): Nano-Regulierung. A Multi-Stakeholder-Dialogue-Approach Towards a Sustainable Regulatory Framework for Nanotechnologies and Nanosciences. St. Gallen, Switzerland.

Mittelstraß, J. (2005): Methodische Transdisziplinarität. In: Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis 14 (2). S. 18-23.

Münchener Rück (Hrsg.) (2002): Nanotechnologie - Was kommt auf uns zu? München.

Münchener Rück (Hrsg.) (2005): The Perspective of a Reinsurance Company an Nanotechnology. Presentation of Dr. G. Schmid at the Nano-Regulation Conference 2005 in St.Gallen.

Nethöfel, W. (2006): Integrierte Innovation in der Entwicklung der Nanotechnologie. Von der Regulierung durch Definitionen zur Orientierung an Dritten Größen. In: Nordmann, A.; Schummer, J.; Schwarz, A. (Hrsg.): Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven. Berlin. S. 371-395.

Nordmann, A.; Schummer, J.; Schwarz, A. (Hrsg.) (2006): Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven. Berlin.

Orthuber, W. (2004): A Discrete and Finite Approach to Past Physical Reality. In: International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences 19. S. 1003-1023.

Preston, C. (2005): The Promise and Threat of Nanotechnology: Can Environmental Ethics Guide US?. In: Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry 11 (1). S. 19-44.

Roco, M. C.; Bainbridge, W. S. (Hrsg.) (2003): Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and the Cognitive Science. Dordrecht.

Roco, M. C.; Bainbridge, W. S. (Hrsg.) (2001): Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology. Proceedings of a Workshop Organized by the National Science Foundation, September 28-29, 2000. Dordrecht.

Röpke, J. (2004): Innovationsdynamik und Lebensverlängerung. Ein Entdeckungsverfahren zur Überwindung des Todes. URL:

[www.wiwi.uni-marburg.de/Lehrstuehle/VWL/WITHEO3/main.html](http://www.wiwi.uni-marburg.de/Lehrstuehle/VWL/WITHEO3/main.html),  
Abruf: 12.07.2006.

Schmid, G.; Brune, H.; Ernst, H. et al. (2006): Nanotechnology. Assessment and Perspectives. Berlin (= Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung, 27).

Schummer, J. (2004): Societal and Ethical Implications of Nanotechnology: Meanings, Interest Groups, and Social Dynamics. In: *Techne - Research in Philosophy and Technology* 8 (2). S. 56-87.

Swiss Re (Hrsg.) (2004): Nanotechnology: Small Matter, Many Unknowns. Zürich.

Tabori, E. (2002): Abduktion und Analogie als Grundlage für die Moralbegründung. Ohne Ort. URL: <http://www.falsafeh.com/html/et> Abduktion analogieMoral.html, Abruf: 12.07.2006.

Tabori, E. (1999): Überlegungsgleichgewicht. Eine methodische Untersuchung. Tübingen. URL: <http://www.falsafeh.com/html/Ueberlegungsgleichgewicht.pdf>, Abruf: 12.07.2006.