

## Ich sehe was, was Du nicht siehst ... zur Definition von Nanotechnologie

von Michael Decker, Ulrich Fiedeler, Tors-ten Fleischer, ITAS

**Die Beurteilung von Nanotechnologie aus der Perspektive der Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse ist mit der Beantwortung von Fragen der Art „Was ist Nanotechnologie?“ oder „Was zählt zur Nanotechnologie?“ verbunden, weil man entscheiden können muss, ob eine technische Anwendung oder ein naturwissenschaftliches Phänomen der Nanotechnologie zuzurechnen – und damit Untersuchungsgegenstand wird – oder nicht. In diesem Beitrag wird zunächst dargelegt, warum gebräuchliche Definitionen im deutschsprachigen und angelsächsischen Raum diese Unterscheidung nicht leisten, obwohl sie durchaus ein „Gefühl“ dafür vermitteln, was Nanotechnologie ist. Im darauf folgenden Abschnitt wird eine Definition diskutiert, die gerade dafür entwickelt wurde, diese Unterscheidungsleistung zu fundieren, indem sie drei konkrete Kriterien nennt, von denen eine „Nanotechnik“ mindestens eines erfüllen muss. Schließlich werden einige Auswirkungen einer solchen trennscharfen Definition auf die wissenschaftliche, wissenschaftspolitische und öffentliche Diskussion über Nanotechnologie diskutiert.**

### 1 Einleitung

Obwohl Nanotechnologie gute Chancen hätte, von der Jury des deutschen Sprachrates in die Liste der am häufigsten gebrauchten Worte aufgenommen zu werden, bleibt vielen schleierhaft, was sich hinter dem Begriff eigentlich verbirgt. In den Veröffentlichungen von Forschungsförderern, Wissenschaftsorganisationen und ihren Beratern finden sich zahlreiche Versuche, „Nanotechnologie“ zu definieren oder wenigstens in ihren Inhalten zu umreißen. Diese wirken auf den ersten Blick relativ ähnlich, bei detaillierter Analyse zeigen sich aber deutliche Unterschiede. Auch in der öffentlichen und medialen Darstellung von Forschung und Innovation ist viel von „der Nanotechnologie“ zu hören. Nicht selten werden hier aber Entwicklungen

zugerechnet bzw. zugeschrieben, bei denen der Bezug zu den genannten „Definitionen“ nur durch ein gehöriges Maß an Interpretation herzustellen ist. Häufig finden sich auch Beispiele, die einen nur relativ engen (oft weit in der Zukunft liegenden und in seiner Realisierbarkeit noch ungeklärten) Ausschnitt aus dem breiten Feld von Nanotechnologie betreffen, aber in der Diskussion als Repräsentant des „Ganzen“ genommen werden und so Technikbilder (und Technikängste!) prägen, die unter den aktiven Wissenschaftlern als eher abseitig, unwahrscheinlich oder entwicklungshemmend gelten. Kurz: Es gibt Klärungsbedarf.

Die Diskussion um Definitionen von Nanotechnologie dauert schon einige Zeit an, ohne das nennenswerte Fortschritte zu berichten wären. Reflexionswissenschaftler, zu denen die meisten Autoren dieses Schwerpunktthemas gezählt werden können, brauchen eine Definition von Nanotechnologie, um beispielsweise in konkreten Fällen entscheiden zu können, ob ein Fallbeispiel der Nanotechnologie zugerechnet und somit überhaupt als ein solches herangezogen werden kann. Allgemeiner muss man wissen, *welchen* Bereich man kritisch reflektiert. Die wissenschaftliche und öffentliche Diskussion um Forschung, technische Entwicklung und ihre Folgen machen es notwendig, das Gebiet dem analytischen und argumentativen Zugriff zu öffnen.

Hierzu existieren mehrere Ansätze:

1. eine begriffliche Aufspaltung durch den Übergang zum Plural („Nanotechniken“, „Nanotechnologien“), die Analyse von ausgewählten – den Nanotechniken zugerechneten – Einzelentwicklungen und der Verzicht auf Verallgemeinerung der Ergebnisse für „die“ Gesamtheit von Nanotechniken (siehe etwa Fleischer 2002);
2. die Operationalisierung der vorhandenen Definitionen durch die Nennung konkreter Kriterien, die die Unterscheidung „Nanotechnologie oder nicht Nanotechnologie“ ermöglichen (etwa Schmid et al. 2003, siehe auch unten);
3. darauf zu setzen, dass sich einzelne Phänomene, wie etwa Theorien zur Selbstorganisation als das vereinende Paradigma für Nanowissenschaften und Nanotechniken herauskristallisieren könnten (Nordmann 2004).

Ungeachtet dieser Ansätze gibt es jedoch offenkundig seitens der Forschungsförderer und Teilen der Wissenschaften (gute?) Gründe, an der bisherigen Tradition eines breiten Verständnisses von Nanotechnologie festzuhalten. Als ein Beispiel dafür mag die unlängst veröffentlichte Mitteilung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften „Auf dem Weg zu einer europäischen Strategie für Nanotechnologie“ dienen, in der es heißt: „Der Begriff ‚Nanotechnologie‘ wird hier als Sammelbegriff verwendet, der die verschiedenen Zweige der Nanowissenschaften und -techniken umfasst. Ursprünglich bezeichnet Nanotechnologie Wissenschaft und Technologie auf atomarer und molekularer Nanoebene und verweist auf die wissenschaftlichen Grundsätze und neuen Eigenschaften, die sich begreifen und beherrschen lassen, wenn man in diesem Bereich arbeitet“ (Europäische Kommission 2004). Auch hier bleibt die fehlende begriffliche Schärfe erhalten: Es werden keine Unterscheidungen getroffen, sondern gerade das Sammeln aller möglichen Forschungsfelder zum Programm gemacht.

Dabei gäbe es über die obigen Anmerkungen hinaus zahlreiche weitere Gründe zur Präzisierung:

(1) Die bestehende Situation führt zu gewichtigen kommunikativen Problemen in der Diskussion um Potenziale und Risiken von Nanotechnologie. Auf die häufig in den Medien vorgenommene faktische Gleichsetzung von Nanotechnologie mit den Drexlerschen Visionen und ihren Abkömmlingen (vgl. hierzu Coenen in diesem Schwerpunkt) soll hier gar nicht weiter eingegangen werden. Selbst näher liegende Fragestellungen verfolgende Arbeiten geraten gelegentlich aufs falsche Gleis. In einem aktuellen Text des Schweizer Rückversicherers SwissRe heißt es beispielsweise: „(...) Nanotechnologie (ist) weniger eine Technologie als vielmehr ein Überbegriff für eine Vielzahl von Anwendungen und Produkten, die kleinste Partikel enthalten und dadurch ganz spezielle Eigenschaften bekommen“. Infolgedessen konzentriert sich – permanent zwischen den Labeln Nanotechnologie und Nanopartikeln hin und her schwingend – die Risikodiskussion nahezu ausschließlich auf die Partikelproblematik.

Zugleich werden oft herausragende Forschungsergebnisse, vielfältige und innovative Anwendungsmöglichkeiten bis hin zu Heils-

versprechen oder großen Marktvolumina von einzelnen nanotechnologiebasierten Produkten oder Verfahren als Erfolge oder Potenziale der Nanotechnologie gefeiert. Stellt man offene Forschungsfragen oder erkannte Risiken bei – manchmal denselben, manchmal ganz anderen – Produkten oder Verfahren als Risiken der Nanotechnologie entgegen, kann es eigentlich kaum verwundern, dass von so manchem die Nanotechnologie als Ganzes mit all ihren revolutionären Chancen als bedrohlich empfunden und hier und da sogar ein Moratorium für die Nanotechnologie gefordert wird.

(2) Quantitative Analysen sind weder validierbar noch lassen sich Studien verschiedener Herkunft zueinander in Beziehung setzen. Solange allein das Abgrenzungsproblem für die Nanotechnologie nicht befriedigend gelöst ist, sind Untersuchungen zu Fördervolumina im Branchen- oder Ländervergleich oft schon in sich, erst recht untereinander kaum vergleichbar. In wachsender Schärfe gilt dies auch für Marktstudien. Hier bestimmt schon die gewählte Definition das ermittelte Marktvolumen entscheidend mit. Was „nanotechnologiebasierte“ oder „nanotechnologieunterstützte“ Produkte oder Prozesse – noch gar nicht zu reden von entsprechenden Dienstleistungen – sind, eröffnet zusätzlichen Interpretationsspielraum. Wenn diesbezügliche Arbeiten für Venture Capital-Unternehmen oder Finanzdienstleister mehr als nur PR-Wert haben sollen, sind Präzisierungen unumgänglich. Gleiches wird in Zukunft für Wirtschaftsstatistiken wichtig werden.

(3) Sollte Nanotechnologie in Zukunft verstärkt auch im Rechtssystem, etwa bei Umweltrecht und Regulierung, im Intellectual Property Right und Patentwesen an Bedeutung gewinnen, werden auch hier exakte Begriffsbestimmungen und Abgrenzungen erforderlich – und entweder durch die Wissenschaft selbst oder durch Legislative und Judikative geschaffen.

Zunächst gilt es zu prüfen, ob nicht die bereits existierenden Definitionen brauchbar sind. Dazu sei kurz daran erinnert, dass Definitionen Unterscheidungen oder Abgrenzungen (lateinisch: definitio) ermöglichen sollen. Ein Begriff wird also bestimmt durch Unterscheidungskriterien und ggf. durch ergänzende Beschreibungen. Jemand, der Unterscheidungen vornimmt, tut das, um bestimmte Zwecke zu

erreichen.<sup>1</sup> Das heißt erstens, dass man diesen Zweck nennen muss und zweitens, dass sich die Güte der Definition am Erreichungsgrad dieses Zweckes messen lassen muss<sup>2</sup>.

Wenn man also nach einer Definition für Nanotechnologie fragt, dann müsste man zunächst angeben, zu welchem Zweck man diese Definition denn machen möchte. Im ersten Beitrag zu diesem Themenschwerpunkt fällt es leicht, einen solchen Zweck zu benennen, denn schließlich mussten die verschiedenen Autoren während der Durchführung der beschriebenen Studien Unterscheidungen folgender Art treffen:

Mit einer Definition von Nanotechnologie soll der Zweck erreicht werden, ein konkretes Forschungsvorhaben oder ein konkretes Produkt als „nanotechnologisch oder nicht nanotechnologisch“ einzuteilen.

Im Folgenden möchten wir drei Dinge leisten:

Erstens werden verschiedene in der Literatur vorgestellte Definitionen daraufhin untersucht, ob man mit ihrer Hilfe den oben genannten Zweck erreichen kann. Da zu keiner der Definitionen ein konkreter Zweck angegeben wurde, unterstellen wir, dass die Definition zumindest auch für Unterscheidungen dieser Art gedacht war – und häufig werden sie von den jeweiligen Autoren ja auch in diesem Sinne zumindest implizit verwendet.

Zweitens wird ein Definitionsentwurf der Studiengruppe „Miniaturization and Material Properties“ der Europäische Akademie GmbH vorgestellt, der für sich beansprucht, genau diese Unterscheidungshilfe leisten zu können.

Schließlich wird beschrieben, welche Folgen eine solche Definition für das „selbstorganisierend“ gewachsene (d. h. Wissenschaftler haben sich und ihre Forschung im Wesentlichen selbst der Nanotechnologie zugerechnet) Feld der Nanotechnologie haben könnte.

## 2 Diskussion bereits existierender Definitionen

Die einfachste und häufigste zitierte Definition von Nanotechnologie bezieht sich auf die namensgebende Größenordnung:

Nanotechnology are “areas of technology where dimensions and tolerances in the range of 0.1 nm to 100 nm play a critical role” (Glossary of the Nanoforum<sup>3</sup>)

Irgendetwas „Kritisches“ soll in der Größenordnung von 0,1-100 nm stattfinden. Gemeint ist damit wahrscheinlich, wie meist aus dem Kontext deutlich wird, ein physikalischer, chemischer oder biologischer Prozess.

Andere Definitionen machen das bereits in der Formulierung deutlicher, indem sie diese Prozesse oder „Phänomene“ genauer beschreiben:

Research and technology development at the atomic, molecular or macromolecular levels, in the length scale of approximately 1 - 100 nanometer range, to provide a fundamental understanding of phenomena and materials at the nanoscale and to create and use structures, devices and systems that have novel properties and functions because of their small and/or intermediate size. The novel and differentiating properties and functions are developed at a critical length scale of matter typically under 100 nm. Nanotechnology research and development includes manipulation under control of the nanoscale structures and their integration into larger material components, systems and architectures. Within these larger scale assemblies, the control and construction of their structures and components remains at the nanometer scale. In some particular cases, the critical length scale for novel properties and phenomena may be under 1 nm (e.g., manipulation of atoms at ~ 0.1 nm) or be larger than 100 nm (e.g., nanoparticle reinforced polymers have the unique feature at ~ 200-300 nm as a function of the local bridges or bonds between the nanoparticles and the polymer).

(National Nanotechnology Initiative<sup>4</sup>)

Die Beschreibung in dieser Definition ist vergleichsweise umfassend. Zunächst wird auf die Größenordnung Bezug genommen, dann wird darauf eingegangen, dass ein grundlegendes Verständnis der Phänomene und Materialeigenschaften in diesem Größenbereich erarbeitet werden soll, um auf der Basis dieses Verständnisses Strukturen, funktionale Bausteine und Systeme bauen zu können, die neue Eigenschaften und Funktionen *aufgrund* der nanoskaligen Größe haben. Im Weiteren wird darauf Bezug genommen, dass sowohl die kontrollierte Manipulation in diesem Größenbereich als auch die Integration in größere Ensembles Bestandteil der Nanotechnologie sein sollen. In Letzteren sollen die Kontrolle und

die Konstruktion der Systeme sich immer noch in diesem Größenordnungsbereich abspielen.

Die in Deutschland gebräuchlichste Definition von Nanotechnologie lautet (Bachmann 1998):

Gegenstand der Nanotechnologie ist die Herstellung und Anwendung von Strukturen, molekularen Materialien, inneren Grenzflächen und Oberflächen mit kritischen Dimensionen oder Fertigungstoleranzen von einigen 10 nm bis zu atomaren Abmessungen. (...) Ziel ist die Präparation materialabhängiger Festkörpereigenschaften, -dimensionen und neuen Funktionen basierend auf neuen physikalisch-chemisch-biologischen Wirkprinzipien, deren Ursache im submikroskopischen bzw. im atomaren und molekularen Bereich begründet sind. (...) Nanotechnologie beschäftigt sich mit Systemen, deren neue Funktionen und Eigenschaften nur allein von den nanoskaligen Effekten ihrer Komponenten abhängig sind.

Auch in dieser Definition wird die Neuartigkeit der Funktionen und Eigenschaften als Bedingung mit der Nanoskaligkeit verknüpft: Physikalisch-chemisch-biologische Wirkprinzipien werden explizit als relevant für Nanotechnologie erwähnt, wobei deren Ursache im nanoskaligen Bereich begründet sein muss.

Möchte man diese Definitionen anwenden, um ein konkretes Forschungsvorhaben zu beurteilen, so sieht man sich mit einem jeweils ähnlichen Problem konfrontiert: Es bleibt unklar oder – positiv formuliert – jedem selbst überlassen, was das jeweils neue Phänomen ist, was neue Wirkprinzipien sind. Man bekommt keine konkreten Kriterien an die Hand, die einem in Entscheidungssituationen weiterhelfen. Dabei soll an dieser Stelle gar nicht bestritten werden, dass man durch die beschreibenden Definitionen ein „Gefühl dafür bekommt, was Nanotechnologie sein soll und was nicht“.

### 3 Die Definition der Studiengruppe „Miniaturization and Material Properties“

Die Studiengruppe der Europäischen Akademie unternahm einen Versuch, dieses „Gefühl“ operationalisierbar zu machen, indem die „neuen „Wirkprinzipien und Phänomene“, die in den Definitionen des vorherigen Abschnitts angesprochen wurden, in Form von Unterscheidungskriterien dargestellt werden (Schmid et al. 2003). Dafür wurde explizit der oben

genannte Unterscheidungszweck als angestrebt angegeben. Außerdem wurde versucht, unterscheidende Aussagen von Beschreibungen zu trennen. Daher ist folgende Definition mit den anschließend angegebenen Beschreibungen zu lesen. Die vorgeschlagene Definition lautet:

*Nanotechnology is dealing with functional systems based on the use of sub-units with specific size-dependent properties of the individual sub-units or of a system of those.*

*(Nanotechnologie handelt von funktionalen Systemen, die von Untereinheiten mit spezifischen, größenabhängigen Eigenschaften der einzelnen Untereinheiten oder eines Systems aus diesen Gebrauch machen.)*

Die definierenden Bestandteile dieser Definition bedürfen der weiteren Beschreibung:

„Funktionales System“ und „Untereinheiten“

Der Begriff System wird eingeführt, um einen Teilbereich aus einem größeren Subjektbereich „heraustrennen“ zu können, den man nun betrachten möchte. Die Systemgrenzen werden pragmatisch, d. h. Bezug nehmend auf konkrete Ziele festgelegt. Bei einem funktionalen System wird die Funktion als das die Systemgrenzen festlegende Kriterium angenommen: Die Systemgrenzen sind so, dass alles innerhalb der Grenzen zur Funktion beiträgt.

Das funktionale System kann beschrieben werden als eine Ansammlung von untereinander interagierenden Untereinheiten, die eine neue Einheit mit systemspezifischen Eigenschaften bilden. Die Untereinheiten sind dabei „ideal“ kombiniert, das heißt in gerichteter und hierarchischer Art und Weise. Die daraus resultierenden neuen Qualitäten des funktionalen Systems können nicht durch bloßes Zusammenbringen der Untereinheiten (d. h. ohne Richtung und Hierarchie) erreicht werden.

Nach dieser Beschreibung ist ein DNA-Molekül, das aus verschiedenen Basenpaaren (den Untereinheiten) besteht, ein funktionales System zur Informationsspeicherung. Auch ein Single Elektron Transistor, der aus einem Nanopartikel und einer Elektrode besteht (beides als Untereinheiten) ist ein funktionales System. Dagegen sind Siliziumpartikel, die die rheologische Fähigkeit<sup>5</sup> von beispielsweise Ketchup verbessern, nicht in gerichteter Art und Weise angeordnet, während dieselben Siliziumparti-

*kel – angeordnet zu einem Supergitter in einem photonischen Kristall – die Eigenschaft eines funktionalen Systems erfüllen.*

*„Spezifische, größenabhängige Eigenschaften“*

*Materialien haben magnetische, mechanische, elektronische, optische, thermodynamische und thermische Eigenschaften. Des Weiteren können Materialien die Fähigkeit zur Selbstorganisation und zur „Wiedererkennung“ („Recognition“) besitzen.*

*Im Folgenden sind drei Unterscheidungskriterien aufgelistet, die eine spezifische Größenabhängigkeit der oben aufgezählten Eigenschaften darstellen, nämlich*

- *wenn die Eigenschaften nicht mehr durch klassische physikalische Gesetze beschreibbar sind, sondern nur durch quantenmechanische Gesetze;*
- *wenn sie dominiert sind durch einzelne Oberflächeneffekte;*
- *wenn diese Eigenschaften aus einer begrenzten Anzahl von Konstituenten resultieren, da der Begriff „Material“ typischerweise mit einer annähernd unendlichen Anzahl von Konstituenten (Atomen, Molekülen) einhergeht, die durch ein mittleres statistisches Verhalten beschrieben werden können.*

*Diese Eigenschaften haben keine makroskopischen Äquivalente.*

Die Definition basiert auf dem Versuch, die in den Definitionen des vorherigen Abschnitts jeweils erwähnten „neuen Eigenschaften durch kleine Größe“ zu erfassen. Dafür wurden die Eigenschaften aufgeschrieben und Kriterien entwickelt, anhand derer eine neue Eigenschaft spezifiziert werden kann. Quantenmechanische Effekte treten erst unterhalb einer bestimmten Größenordnung auf und sind dann, von größeren Skalen „kommend“, neu. An der Oberfläche eines makroskopischen Körpers ist nur ein Bruchteil seiner Bestandteile zu finden. Daher sind Oberflächeneffekte gegenüber den Volumeneffekten häufig vernachlässigbar. Das ist nicht mehr der Fall bei sehr kleinen Körpern<sup>6</sup>. Ist der Körper so klein, dass Oberflächeneffekte die Eigenschaft des Körpers (mit-)prägen, dann wird diese Eigenschaft als „neu“ eingestuft. Schließlich gilt das mittlere statistische Verhalten von Teilchen als relevant für die

physikalisch-chemischen Eigenschaften eines Ensembles. Wenn die Gesamtanzahl der Teilchen so gering ist, dass die Eigenschaften nicht mehr durch das statistische Mittel, sondern durch das Betrachten einzelner Teilchen beschrieben werden müssen, dann sind auch die neuen Eigenschaften im Sinne der obigen Definition. Im Gegensatz dazu stehen Verlaufsgesetze, die aus der makroskopischen Welt bekannt sind und ihre Gültigkeit auch im Größenbereich von  $10^{-9}$  m behalten. Sie stellen keine spezifische größenabhängige Eigenschaft dar, weil keine Grenze identifiziert werden kann, an der etwas „Neues“ passiert. Als Beispiel sei hier die Gravitation genannt, bezüglich derer sich Atome und Elektronen genauso verhalten wie Planeten und Sterne.

Das Verhältnis von „System“ und „Untereinheit“ soll an folgendem Beispiel demonstriert werden. Die Farbe einiger mittelalterlichen Kirchenfenster entsteht durch das optische Verhalten von Goldpartikeln im Glas, welche durch ihre Größe bestimmt ist. Die Metallpartikel sind in diesem Beispiel die Untereinheiten, das Glas ist das gesamte System. Das optische Verhalten der Metallpartikel für sich allein lässt noch nicht die Farbe entstehen; erst dadurch, dass viele Partikel zusammenkommen, entsteht der Farbeffekt. Das Verhalten der Untereinheiten ist durch den so genannten „Surface Plasmon Effect“ beschrieben, der nach dem dritten Kriterium der obigen Definition ein Nanoeffekt ist. Hier hat also die Untereinheit die größen-spezifische Eigenschaft. Ein weiteres Beispiel zur Verdeutlichung der Beziehung der Untereinheiten zum Gesamtsystem ist ein DNA-Molekül, das aus verschiedenen Basenpaaren (den Untereinheiten) besteht und zusammen ein funktionales System zur Informationsspeicherung darstellt.

Da diese Unterscheidungen zwischen größenabhängigen und größenunabhängigen Eigenschaften den Kern der Definition ausmachen, sollen sie anhand von zwei Beispielen weiter verdeutlicht werden.

#### *1. Beispiel: Nur durch quantenmechanische Gesetze beschreibbar:*

Der so genannte „Quantum Confinement Effect“ ist ein Beispiel für eine größen-spezifische Veränderung der Eigenschaften bei Verringerung der Größe eines Partikels. Dieser Effekt

tritt auf, wenn der Durchmesser eines Nanopartikels in der gleichen Größenordnung wie die Wellenlänge der Wellenfunktion des Elektrons ist. Wenn dies der Fall ist, dann können die optisch aktiven Elektronen nicht mehr beliebige Energiezustände einnehmen. Das kontinuierliche Energiespektrum spaltet sich in diskrete Zustände auf. Für Silizium tritt dieser Effekt etwa ab einer Größe von 4,9 nm auf, für Metalle ist dieser Wert noch kleiner.

## 2. Beispiel: Begrenzte Anzahl von Konstituenten, nicht mehr statistisch beschreibbar:

Ein System, bestehend aus mehreren Molekülen, könnte beispielsweise ein Pigment-Molekül enthalten, dessen Funktion es ist, die mittels Lichtabsorption gespeicherte Energie eines Nachbarmoleküls für die Emission von Licht einer bestimmten Farbe zu verwenden. Dafür ist eine ideale räumliche Anordnung dieser Untereinheiten nötig. Wird diese Anordnung technologisch hergestellt – also durch gezielte Manipulation –, so ist dieses System der Nanotechnologie zuzurechnen. Im Gegensatz dazu ist eine beliebige Anzahl desselben Pigmentmoleküls in einer Wandfarbe keine Nanotechnologie nach dem dritten der oben vorgestellten Kriterien, da die Farbe vom bloßen statistischen Verhalten des Moleküls herrührt.

## 4 Folgen einer operationalisierbaren Definition von Nanotechnologie

Schon diese beiden Beispiele zeigen, dass man für die Einteilung von möglichen „Kandidaten“ schon sehr genau analysieren muss, ob eine „neue Funktion“ oder das damit verbundene „Phänomen“ der Nanotechnologie zuzurechnen ist – oder nicht. Der Bezug zu den im zweiten Abschnitt diskutierten Definitionen wurde hier absichtlich noch einmal hergestellt, um zu vergegenwärtigen, dass die Definition der Studiengruppe „Miniaturization and Material Properties“ ja nichts anderes gemacht hat, als die in diesen Definitionen unscharf beschriebenen „neuen Funktionen und Phänomene“ konkret auszubuchstabieren. Um die „Unterscheidungskraft“ der Definition zu überprüfen, hat die Studiengruppe insgesamt 35 Effekte, die typischerweise mit Nanotechnologie in Verbindung gebracht werden, beurteilt. Dabei ist es nicht ver-

wunderlich, dass auch einige „prominente“ Anwendungen oder Verfahren den oben genannten Kriterien nicht standhalten. So wurden beispielsweise selbstreinigende (Lotuseffekt) und nicht reflektierende (Mottenaugen-Effekt) Oberflächen oder auch die FED (Field Emission Displays) nicht der Nanotechnologie zugeordnet.

Offensichtlich ist, dass diese Definition einen stark physikalisch-materialwissenschaftlichen Fokus aufweist und dadurch ganze Teile der in Fachdiskussion und öffentlicher Wahrnehmung als Nanotechnologie angesprochenen Entwicklungen außen vor lässt. So repräsentiert diese Definition nicht mehr die so genannte molekulare (Drexlersche) Nanotechnologie, was angesichts der Kontroverse darum (und der Skepsis oder Abneigung vieler Nanowissenschaftler) vielleicht sogar ein gewünschter Effekt gewesen sein könnte.

Der Bereich der Nanobiotechnologie wurde von der Studiengruppe explizit nicht berücksichtigt. Hier könnte man zum einen überlegen, ob die drei in der Definition angegebenen Unterscheidungskriterien um ein viertes Kriterium erweitert werden müssten. Andererseits kann man aber auch fragen, wie die Schnittstelle von Biologie und Nanotechnologie ausgestaltet ist. Ist Nanobiotechnologie als (möglicherweise sogar vollständige) Teilmenge von Nanotechnologie zu verstehen und damit eine Präzisierung der Begrifflichkeiten? Oder sollen damit Teile der biotechnischen Forschung, die bislang noch nicht vom „Nanoboom“ profitieren konnten, auch noch unter das momentan so lukrative Dach geholt werden? Das wäre dann eine Erweiterung.

In Bezug auf die in der Aufzählung der Einleitung beschriebenen Ansätze, das Problem der begrifflichen Unschärfe zu lösen, kann man die strenge Definition (Ansatz 2) als einen vorbereitenden Schritt zum Ansatz 1 verstehen, denn für die Anwendung der Definition ist es nötig, *einzelne* naturwissenschaftliche Phänomene zu beurteilen. Da die Definition im Wesentlichen aus drei Unterscheidungskriterien besteht, findet hier schon einmal eine Aufteilung statt und auch innerhalb der einzelnen Unterscheidungskriterien sind Analogieschlüsse so gut wie nicht möglich. Wenn man aber für die Beantwortung der Frage „Ist das Nanotechnologie?“ schon bis ins Detail gehen muss (und die Definition ist ja alles andere als

„handlich“), dann wird man für eine spätere Beurteilung der auf diesem Phänomen aufbauenden Technik diesen Detailliertheitsgrad nicht mehr verlassen. Die Aufteilung ist dann damit faktisch schon vollzogen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass eine Operationalisierung der üblichen im Zusammenhang mit Nanotechnologie verwendeten Definitionen durch die Angabe von konkreten Unterscheidungskriterien nur auf der Ebene von einzelnen funktionalen Systemen erreicht werden kann und nicht für die Nanotechnologie als Ganzes. Damit geht auch der – vermeintliche – Vorteil der unscharfen Definitionen verloren, positive Konnotationen, wie beispielsweise das hohe Innovationspotenzial, der Nanotechnologie als Ganzes zuzuschreiben. Das integrierende Moment, die identifikationsstiftende forschungspolitische Klammer wird – wenigstens in Teilen – aufgegeben. Zugleich gewinnt man die Möglichkeit der intersubjektiven Überprüfung von Aussagen zu einem Betrachtungsgegenstand, etwa der Validierung oder Falsifizierung von quantitativen Angaben über Forschungsausgaben oder Marktvolumina. Dieser Schritt der Präzisierung löst zudem einige Kommunikationsprobleme, die mit einem Sammelbegriff typischerweise verbunden sind, weil er dem einzelnen funktionalen System eben nur teilweise gerecht werden kann. Umgekehrt könnte man argumentieren, dass aber auch neue Kommunikationsprobleme geschaffen werden, weil eben nur in klaren Fällen ad hoc eine Unterscheidung gemacht werden kann. Im Allgemeinen ist eine tiefer gehende naturwissenschaftlich-technische Diskussion erforderlich, was das Nachvollziehen der Entscheidung für Laien erschwert. Bei der Erforschung von Folgen technischer Entwicklungen, bei der Abschätzung ihrer Chancen und Risiken, ist die Präzisierung des betrachteten Gegenstandsbereichs unseres Erachtens allerdings unerlässlich.

### Anmerkungen

- 1) Ein in der Karlsruher Gegend saisonal nahe liegendes Beispiel ist das Unterscheiden von Spargeldurchmessern, um mit den unterschiedlich dicken Spargeln verschiedene Erlöse erzielen zu können.
- 2) Darüber hinaus sind noch in der wissenschaftstheoretischen und sprachwissenschaftlichen Literatur ausführlich diskutierte grundlegende Re-

geln des Definierens einzuhalten. So darf beispielsweise eine Definition keinen Zirkelschluss, keine logischen Widersprüche und keine Zweideutigkeiten enthalten und nicht nur negativ bestimmt sein.

- 3) <http://www.nanoforum.org/>
- 4) [http://www.nano.gov/omb\\_nifty50.htm](http://www.nano.gov/omb_nifty50.htm)
- 5) Rheologie: die Lehre vom Fließverhalten von Flüssigkeiten
- 6) Ein Würfel der Kantenlänge 10 nm enthält ca. 1000 Moleküle, von denen 50 % an der Oberfläche sitzen. Ein Würfel der Kantenlänge 1 Mikrometer besteht aus einer Milliarde Molekülen, von denen 0,6 % an der Oberfläche sitzen.

### Literatur

- Bachmann, G.*, 1998: Innovationsschub aus dem Nanokosmos. VDI-TZ, Düsseldorf
- Fleischer, T.*, 2002: Technikfolgenabschätzungen zur Nanotechnologie – Inhaltliche und konzeptionelle Überlegungen. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis, Heft 3/4, 11. Jg., November, S. 111-122
- Europäische Kommission*, 2004: Mitteilung der Kommission „Auf dem Weg zu einer europäischen Strategie für Nanotechnologie“. KOM(2004) 338 endgültig. Brüssel, den 12.05.2004
- Nordmann, A.*, 2004: Die gesellschaftliche Einbettung der Nanotechnologie. Vortrag am Forschungszentrum Karlsruhe; 24.05.2004
- Schmid, G.; Decker, M.; Ernst, H.; Fuchs, H.; Grünwald, W.; Grunwald, A.; Hofmann, H.; Mayor, M.; Rathgeber, W.; Simon, U.; Wyrwa, D.*, 2003: Small Dimensions and Material Properties. A Definition of Nanotechnology. Graue Reihe Nr. 35. Europäische Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

### Kontakt

Dr. Michael Decker  
 Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
 Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)  
 Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe  
 Tel.: +49 (0) 72 47 / 82 - 30 07  
 Fax: +49 (0) 72 47 / 82 - 60 45  
 E-Mail: [decker@itas.fzk.de](mailto:decker@itas.fzk.de)  
 Internet: <http://www.itas.fzk.de>

«