

Small is beautiful? Zur Problematik der Nanotechnologie

Hans Poser, TU Berlin

Nanotechnologie – dieser Ausdruck wird zusammenfassend für Nanophysik, Nanochemie, Nanobiotik und deren Misch- und Anwendungsformen verwendet. *Nano* (griechisch $\nu\alpha\lambda\omicron\upsilon\varsigma$, Zwerg) steht für ‚winzig‘, nämlich ‚Milliardstel‘; Gegenstand der Nanotechnologie sind Strukturen von 1 bis 100 nm (Milliardstel Meter), molekulare Nanotechnologie bezeichnet das gezielte Erschaffen von Strukturen durch kontrollierte Manipulation von Atomen und Molekülen. Durch den Aufbau von Strukturen Atom für Atom können neuartige Materialien und Bauteile mit bislang unbekanntem Eigenschaften erzeugt werden. Das Vordringen in diese Bereiche wird als *dritte industrielle Revolution* gefeiert. Worum geht es genauer – und wo liegen die Gefährdungspotentiale und die ethischen Probleme, die bis hin zu radikaler Zurückweisung geführt haben?

1. Nanotechnologie und ihre Eigenschaften

Tatsächlich zeigen sich mit dem Vorstoß in Bereiche, die der Quantentheorie gehorchen, Strukturen und Qualitäten, die in keiner Weise jenen des klassischen Mesokosmos mittlerer Dimensionen, auch nicht jenen des Mikrobereichs entsprechen oder aus deren Gesetzmäßigkeiten ableitbar wären. Es geht also um die völlig unerwarteten Gestaltungsmöglichkeiten von Materialstrukturen mit verblüffenden Beschaffenheiten und Anwendungsmöglichkeiten. Erwartet wird eine Nutzung in praktisch jedem bisherigen Herstellungsprozess, gestützt auf neuartige Bauteile mit gekanntem Eigenschaften, etwa extrem leicht, extrem stabil, zumeist auch extrem klein. Sie gewährleisten in Lacken einen besseren Schutz vor Kratzern, bessere Haltbarkeit oder eine Schutzschicht gegen Sprayer. Zu nennen sind auch die stahlharten, leitfähigen Nano-Kohlenstoffröhrchen (Nanotubes) mit der Eigenschaft, ihre Gitterstruktur aus einer Art Gel selbstorganisiert aufzubauen. Im Bereich der Medizin geht es um die Schutzwirkung von Sonnencreme durch Nanoteilchen aus Titanoxid, um die Anreicherung von Kariesvorsorge-Partikeln in Zahncreme, um ‚Fähren‘ für Medikamente in ‚Drug Delivery-Systems‘. Im Roboterbereich geht es um Nano-Roboter bis hin zur Hoffnung auf autonome, sich selbstvermehrende intelligente Nanomaschinen, sogenannte *Nanobots*.

2. Auswirkungen, Warnung und Kritik

Langfristige große Auswirkungen auf unsere Zivilisation werden von der Nanotechnologie erwartet. Die bevorstehende rasante Vergrößerung der Computer- und Technologie-Leistungsfähigkeit führe zu Möglichkeiten, die Welt vollkommen zu verändern, „zum Guten wie zum Bösen“, wie der amerikanische Computer-Spezialist Bill Joy schrieb.

Jetzt schon zeichnen sich *positive Auswirkungen* ab wie optimierte Brennstoff- und Solarzellen, verbunden mit deutlicher Rohstoffschonung, eine bessere Nutzung regenerativer Energien, eine verbesserte Kommunikationstechnik, verbesserte Mobilität und eine verbesserte medizinische Versorgung, beispielsweise durch die gezielte Erkennung von Viren, Krebszellen etc. und deren Behandlung. Bei zerschnittenen Nerven könnten Kohlefaser-Nanoröhrchen als Stützrohr für wieder zusammenwachsende Nervenenden dienen.

Doch ebenso sehr sind *gewagte Versprechungen* zu beobachten – von den erwähnten Nanobots bis hin zur Erfüllung des Menschheitswunschtraums einer Fast-Unsterblichkeit durch die Möglichkeit der Bekämpfung fast aller Krankheiten.

Den skizzierten Positiven stehen harsche *Kritiken* gegenüber. Die Entwicklung, schrieb Bill Joy im Frühjahr 2000, sei viel gefährlicher als die der Nuklearwaffen, weil sie „droht den Menschen zu vernichten“. Denn das Ziel der Nanotechnologie sei es, jede nur gewünschte Struktur aus Atomen zusammenzubauen – was extrem leistungsfähige Computer ermöglichen werde, an die wir wegen der Begrenztheit unserer menschlichen Kapazitäten alle Entscheidungen abgeben und uns damit selbst entmachten und versklaven. Zugleich, so glauben auch amerikanische Robotik-Gurus wie Hans Moravec und Ray Kurzweil, werde die Robotik zu sich selbst verbessernden und sich selbst reproduzierenden intelligenten Robotern führen, die dann den Menschen in der Evolution ablösen.

Joy schreibt gar, uns drohe die

- *Zerstörung unseres Körpers*, nämlich Lungen-, Leber- und Nierenschäden wegen des Unvermögens des Körpers, Nanopartikel zu eliminieren. – Ebenso sei die
- *Zerstörung unserer Lebenswelt* zu befürchten durch nanotechnologisch hervorgebrachte selbstreplikaktive Organismen wie Bakterien, sowie allgemein durch ökologische und toxische Gefahren von Nanopartikeln. – Weiter bestehe die Gefahr
- *wissensbasierter Massenvernichtung*: Die Technologie der Massenvernichtungswaffen des 20. Jahrhunderts verlangte schwer zugängliche Ressourcen (Uran); zur Nanotechnologie bedürfe es nur eines Wissens; es bestehe erstmals die Gefahr des Terrorismus wie der militärischen Auseinandersetzung durch *wissensbasierte Massenvernichtungswaffen*, wesentlich verschärft durch deren Selbstreplikation. – Schließlich führe
- *Robotik*, basierend auf der Nanotechnologie, zu sich selbst replizierenden, ihre Art dabei selbst verbessernden Robotern, die den Menschen überflügeln und letztlich auslöschen.

3. Science fiction oder Realität?

Die beiden letztgenannten Punkte sind aus guten Gründen nur Science fiction.

4. Berechtigte Sorgen und vorgeschlagene Maßnahmen

Völlig berechtigt sind hingegen die Sorgen, nanotechnisch entwickelte Substanzen könnten wegen ihrer gänzlich neuen Eigenschaften in menschlichen, tierischen und pflanzlichen Geweben zu unerwünschten, gar zu äußerst gefährlichen Effekten führen, weil – so wird argumentiert – solche Partikel in der Evolution nicht vorkamen, so dass sich gegen sie keine Abwehrsysteme ausbilden konnten, und Ähnliches lasse sich für Ökosysteme allgemein vermuten. Doch auch hier sollten Warnungen vorsichtiger formuliert werden, denn Nanoeffekte gibt es in der Natur vielfach, etwa die schmutzabweisende Schicht der Lotusblätter oder die stabilisierenden Nanoschichten in Muschelschalen. Die Warnungen gelten also berechtigter Weise nur für *neue* Materialien. Hierbei geht es zum einen um die direkte *Kontaminierung* von Lebewesen mit Materialien, an deren Eigenschaften sich in der Evolution anzupassen unmöglich war, zum anderen um die *Entsorgung* von nanotechnisch erzeugten Materialien.

Grundsätzlich zeigt sich an dieser Stelle ein dreifaches *Methodenproblem*:

(1) Es gibt keinen spezifischen *Gegenstandsbereich* wie in den Naturwissenschaften; ebenso fehlt ein *Zweckbereich* wie in den Ingenieurwissenschaften. Entsprechend gibt es keine spezifische *Methode*. Genau besehen, gibt es selbst *Nanotechnologie* bisher kaum, schon gar nicht im Sinne einer Technikwissenschaft; es handelt sich einstweilen im wesentlichen um *Nanoforschung* als Grundlagenforschung bis hin zu einer anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Als *Nanotechnologie* handelt es sich um eine *Querschnittstechnologie*.

(2) Klassische *Prognoseverfahren* greifen aus praktischen Gründen nicht, weil wir über das geforderte Wissen über Gesetzmäßigkeiten nur in höchst eingeschränkter Weise verfügen; und aus theoretischen Gründen, weil im Quantenbereich die vertrauten Zusammenhänge nicht gelten.

(3) Die geforderte *Folgenanalyse*, ob eine Kontaminierung zu befürchten ist oder Vorsorge bei der Entsorgung vonnöten ist, betrifft überaus *komplexe* physikalisch-chemisch-biotisch-technische Systeme, so dass alte kausalanalytische Verfahren mit ihrer Voraussetzung idealisierter Bedingungen nicht ausreichen, um Prognosen vorzunehmen zu können. Doch für eine Abschätzung bedürfte es eines Wissens um die Strukturzusammenhänge des Systems, die es gerade erst noch zu untersuchen gilt.

Kein eigener Gegenstandsbereich, keine spezifische Methode, kein Zweckbereich, sondern quer hierzu verlaufende Vernetzungen – eben darin liegt die besondere Herausforderung für eine Auseinandersetzung mit der Nanotechnologie, weil sie noch vielgestaltiger sein wird als jene Technologien, für die Verfahren der Technikbewertung und Technikfolgenabschätzung bislang entwickelt wurden und die genau dann erfolgreich waren, wenn sich sachgerechte Eingrenzungen ausmachen ließen. Die Frage nach spezifischen ethischen Problemen, die mit der Nanotechnologie verbunden sind, sein können oder könnten, betrifft deshalb einen Überlappungsbereich von

Technikethik, Bioethik und Wissenschaftsethik.

Um den genannten Sorgen zu begegnen, sind Maßnahmen unterschiedlichster Reichweite vorgeschlagen. Zurückhaltenden Vorschlägen stehen *Maximalforderungen* wie die folgenden gegenüber:

- Die einzig realistische Alternative besteht darin, unserer *Technologie Grenzen zu setzen*, wo sie zu gefährlich ist, durch Begrenzung unseres Wissensdrangs in bestimmten Bereichen (paraphrasiert nach Joy 2000).
- *Einfrieren jeder Forschung* (Moratorium der kanadischen ect-Gruppe (Action Group on Erosion, Technology and Concentration)).
- *Änderung unserer Lebensziele* zugunsten von Verantwortung, Liebe, Glück (was alles nicht durch Materielles erreichbar ist) (Joy unter Berufung auf den Dalai Lama).

5. Prinzipien der Bewertung

Einleitend gilt es festzuhalten, dass es weder eine spezifische Wissenschafts- oder Technikethik geben kann, noch gar eine Nanoethik – so wenig wie es sonst Spezialethiken geben kann, denn ethische Prinzipien müssen universell sein. Vielmehr geht es um die Anwendung solcher universellen Prinzipien auf Handlungen – hier die Entwicklung und Nutzung von Nanotechnologie –, die bislang nicht vorkamen.

Nun sind gerade im Zusammenhang mit der Technik Vorschläge gemacht worden wie

- Small is beautiful.
- Wenn der GAU möglich ist, geschieht er auch irgendwann: Auszugehen ist stets von der größtmöglichen Gefährdung.
- Wenn es zwei Handlungsalternativen mit gleicher Erfolgswahrscheinlichkeit gibt, wobei die eine darin besteht, alles auf eine Karte zu setzen, die andere, Schritt für Schritt vorzugehen, so wähle stets die zweite Variante. Etc.

Doch dieses sind gerade keine ethischen, sondern *pragmatische* Grundsätze, nämlich eine Hoffnungsregel, eine Pessimistenregel und eine Hausväter-und-Hausmütterregel. *Ethische* Grundsätze sind hingegen von der Art des Kantischen Kategorischen Imperativs:

- Handle so, als ob die Maxime deiner Handlung durch deinen Willen zum allgemeinen Gesetz werden sollte.

Der Nachteil des Kategorischen Imperativs besteht im Hinblick auf die Technik darin, dass er zum einen als rein formales Gebot keinerlei inhaltlichen Bezug hat und zum anderen unser heutiges Problem, nämlich die Verantwortung für künftige Generationen, nicht oder jedenfalls nicht deutlich einschließt. Darum hat Hans Jonas ein Prinzip einer Zukunftsethik so formuliert:

- Handle so, dass die Wirkungen deiner Handlungen verträglich sind mit der Permanenz echten menschlichen Lebens auf Erden.

Auch dieses Prinzip hat Schwächen, denn wir wissen nicht, was künftige Generationen unter einem ‚echten menschlichen Leben‘ verstehen werden. Eine der heute angebotenen Fassungen setzt deshalb wieder eine formale Forderung ein, nämlich die folgende:

- Handle so, dass künftigen Generationen die Handlungs- und Wertsetzungsmöglichkeiten nicht verbaut werden.

Nun vermag das in solcher Allgemeinheit nicht zu gelingen, weil ich mit jeder Handlung die Handlungsspielräume anderer beschneide; also muss genauer gesagt werden, welche Handlungs- und Wertsetzungsmöglichkeiten gemeint sind und wie sie im Konfliktfall gegeneinander abzuwägen sind. Das aber ist die am Einzelfall zu führende Diskussion, keine Angelegenheit der übergreifenden Prinzipien.

6. Zwischen Wissenschafts- und Technikethik

Exemplarisch sei dies im Hinblick auf die ethischen Fragestellungen im Wissenschafts- und Technikbereich näher verfolgt, beginnend mit dem Forschungshorizont, der damit in den Bereich der Wissenschaftsethik fällt.

6.1 *Wissenschaftsethik* – darin geht es nicht um die ethische Bewertung wissenschaftlicher Aussagen, sondern um das *Handeln des Wissenschaftlers und dessen Folgen*. Damit ist hier nicht das *Wissenschaftsethos* gemeint (Manipuliere nie die Daten! Respektiere die Priorität der Forschungsergebnisse anderer! Sei fair in der Auseinandersetzung mit den Argumenten derer, die eine andere Auffassung vertreten!). Was bedeutet das für die Nanoforschung?

– *Sorgsamer Umgang im Experiment*, so dass weder der Experimentator noch ein anderer Schaden nimmt.

Hier beginnen die praktischen Schwierigkeiten, denn hier wird vorausgesetzt, dass wir wissen, wann Schäden zu befürchten sind; das aber ist nicht der Fall.

– *Prinzip der Reversibilität*: Die jeweiligen Schritte sollen so klein sein, dass sie im Kern rückgängig gemacht werden können.

Dies ist eine Vorsichtsmaßnahme, kein ethisches Prinzip. Doch abgesehen davon, dass sich nie etwas im strengen Sinne rückgängig machen lässt, stehen wir bei Nanopartikeln vor der Schwierigkeit, dass sie sich nicht einfach wieder ‚einfangen‘ lassen.

– *Vorausschauende Reflexion* über mögliche schädigende Folgen.

- *Intensive Grundlagenforschung unter Einschluss von möglichen und tatsächlichen Gefährdungen*.

Hier kommt die *theoriebedingte* Schwierigkeit hinzu: im gegebenen Fall wissen wir kaum etwas, sonst wäre die Forschung überflüssig; es handelt sich also um eine abwägende Entscheidung unter Risiko oder gar unter Ungewissheit.

Doch es gibt viel radikalere Forderungen: Schluss mit aller Nano-Forschung, weil wir in einen Bereich vorstoßen, über den etwas zu wissen wir grundsätzlich ausschließen sollten. Dies wäre ein *Wissensverbot*. *Kann es ein Wissen geben, das zu haben ethisch verwerflich ist?* Die Antwort wird sich darauf stützen müssen, dass *Wissen* als Wissen ethisch neutral ist – doch die Weise seiner Gewinnung und Anwendung und die Gründe dafür unterliegen ethischer Wertung; das aber sind *Handlungen* und ihre Motive.

6.2 *Technikethik* ist Teil eines ganzen Netzwerks von Wertungen und Bewertungen, denen Technik unterworfen ist. Diese Wertungsebenen sind in der VDI-Richtlinie 3780 zur Technikbewertung als Werteoktagon zusammengetragen und reichen, beginnend bei der Funktionsfähigkeit, einerseits über Sicherheit und Gesundheit zur Umweltqualität, andererseits über die (einzelwirtschaftliche) Wirtschaftlichkeit zum gesamtwirtschaftlichen Wohlstand, überragt durch Werte der Persönlichkeitsentfaltung und der Gesellschaftsqualität. Diese haben ethische Implikationen, doch während in der Technikbewertung Nutzen gegen Risiken, Kosten für die eine gegen Kosten für die andere Seite abgeglichen werden, konzentriert sich Technikethik auf die Verantwortungsproblematik. Dazu gehört auch die ethische Bewertung der einer Technik vorausliegenden Ziele und Mittel.

Technikbewertung ist kein der Entwicklung nachfolgender Schritt, sondern muss *prospektiv* vorgehen und Teil des Entwicklungsprozesses sein. Nanotechnik – und dies ist das Besondere – bietet nun erstmals in der Geschichte der Technik die Chance, die Entwicklung *von Anbeginn* mit der Folgenabschätzung zu koppeln, statt erst durch Schaden klug werden zu müssen, gerade weil es sich derzeit weitestgehend noch nicht um Technik, sondern um vorbereitende Forschung handelt.

Dies ist nicht die unrealistische Utopie eines Philosophen, denn es gibt einen überaus erfolgreichen Bereich, der sich zum Vorbild wählen lässt – die *Pharmaforschung*. Sie verfügt seit mehreren Jahrzehnten über ein weltweit wirksames Handlungs- und Kontrollsystem, um sicherzustellen, dass es nach bestem Wissen weder zu Gefährdungen der Probanden noch der in Tests einbezogenen Kranken kommt. Niedergelegt ist dies in der vom Weltärztebund erarbeiteten *Deklaration von Helsinki*, die, jeweils fortgeschrieben, von praktisch allen in der Pharmaforschung tätigen Nationen übernommen wurde. Ein ähnliches Vorgehen, weltweit angewandt, wäre ein wesentlicher Schritt zu einer übernationalen Absicherung der Technikbewertung schon im Prozess von Forschung und Entwicklung. In der Nanotechnologie, die noch sehr am Anfang steht, böte dies die Chance zu einer globalen Vorbildlösung.