



Carl Friedrich Gethmann. Foto: Max Greve

Dieser Beitrag entwickelt aus einer technik-ethischen Überlegung zu einem komparativen Sicherheitsverständnis heraus Kriterien, gemäß denen eine technische Option als sicherer gegenüber einer anderen zu beurteilen ist. Dabei spielen in diesem Zusammenhang die möglichen Auswirkungen der Erforschung, Entwicklung, Herstellung und Verwendung von Nanomaterialien im Vergleich zu alternativen Materialien die ausschlaggebende Rolle. Um sukzessive eine höhere Sicherheit im Umgang mit Nanomaterialien zu erreichen, wird gefordert, die Beurteilung von Technikfolgen zu optimieren sowie Technologien zur Beherrschung des Einsatzes der Nanomaterialien und zur Revision möglicher Auswirkungen zu entwickeln beziehungsweise zu verbessern.

Technischer Fortschritt und Ethik

Ethische Aspekte technischer Sicherheit beim
Einsatz von Nanomaterialien

Von Bert Droste-Franke und Carl Friedrich Gethmann

Wir leben in einer *technischen Kultur*. Niemand vermag sich auch nur den Preis vorzustellen, der an Lebensqualität im umfassenden Sinne zu zahlen wäre, wollte man diese technische Kultur in Richtung prä-moderner oder post-moderner – nicht technisch geprägter – Lebensformen verlassen. Das technische Handeln des Menschen ist konstitutiver Teil unserer Kultur, und nicht etwa nur ein niederer Sockel derselben. Da das technische Handeln des Menschen kein Naturphänomen, sondern eben ein Kulturphänomen

ist, weist es auch eine tiefgreifende *kulturgeschichtliche Variabilität* auf, so dass mit Bezug auf das technische Handeln zu fragen ist (und auf diese Frage gibt uns die Natur letztlich keine Antwort), wie wir als Menschen leben wollen und leben sollen.

Ethische Aspekte technischer Sicherheit

Mit dieser Frage des Wollens und Sollens betreten wir die Domäne der Ethik, hier näherhin der *Ethik des technischen Handelns*. Nun ist der

Mensch, soweit wir kulturgeschichtlich wissen, schon immer darauf angewiesen gewesen, gerätegestützt, also technisch, zu handeln, um in gewünschter Qualität zu leben oder auch nur zu *überleben*. Lange Zeit warfen dabei die Geräte des Handelns keine *spezifisch* moralischen Probleme auf. Man kann in diesem Zusammenhang von einer vor-modernen Technik sprechen oder besser: von einer *vormodernen* Einstellung zur Technik. Die *moderne* Einstellung zur Technik ist demgegenüber durch eine *zweifache*

zusätzliche *Komplexität* ausgezeichnet:

Einmal trägt diese Einstellung dem Umstand Rechnung, dass die Mittel ihren Zweck nur noch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu realisieren erlauben, und zwar deshalb, weil zwischen Ausgangssituation und Endzweck sehr viele Vermittlungsstufen liegen, oder auch deshalb, weil technisches Handeln oft andere Folgen zeitigt als die beabsichtigten. *Zum anderen* ist die moderne Einstellung zur Technik dadurch geprägt, dass die Gefahrenträger, diejenigen, die die Lasten einer technischen Implementierung auf sich zu nehmen haben, oft gerade nicht die Nutznießer sind. Beide Aspekte lassen sich dahingehend zusammenfassen, dass das moderne technische Handeln und die moderne Einstellung zu ihm durch die Probleme des Handelns unter Unsicherheit und unter Ungleichheit bestimmt sind.

Unsicherheit und Ungleichheit sind die wichtigsten Phänomene, die dazu führen, dass die moderne Technik im Unterschied zur vor-modernen Technik spezifische moralische Probleme aufwirft, die in vormoderner Technik keine oder nur eine marginale Rolle gespielt haben. Darf man eine Gefahr angesichts eines unsicheren Erreichens eines Zwecks in jedem Fall auf sich nehmen oder sogar anderen zumuten? Und erst recht: Darf man anderen Menschen Gefahren zumuten, die sie nicht frei gewählt haben und von deren Zweck sie nicht einmal mit Sicherheit profitieren? Das sind einige der zentralen Fragen, mit denen sich die Ethik im Blick auf die moderne Technik befassen muss.

Der *Begriff des Risikos* ist ein bewährtes Instrument, um Gefahrensituationen wahrzunehmen und zu beschreiben, sie auf dieser Grundlage zu beurteilen und davon ausgehend auch zu bewältigen. Wir müssen aber feststellen, dass die Gefahrenwahrnehmung vieler Mitglieder unserer Gesellschaft einerseits und professionelle Risikobeur-

teilung andererseits in vielen Fragen weit auseinanderklaffen, was im Übrigen in manchen Fällen sogar die Folge eines zunehmend rationalen Umgangs mit Risiken ist. Denn gerade eine erhöhte Risikosensibilität aufgrund besserer Erkenntnis- und Handlungsmöglichkeiten führt zu höheren Erwartungen bezüglich der Sicherheitsstandards, die man erfüllt sehen möchte. Die Einhaltung von Sicherheitsstandards verlangt jedoch Implementationen und Investitionen, die ihrerseits auch (nicht zuletzt technische) Risiken herbeiführen; gerade solche Risiken werden jedoch oft in unserer Gesellschaft in zunehmenden Maße nicht mehr akzeptiert.

Im Interesse der Vermeidung eines derartigen, das technische Handeln lähmenden Paradoxes liegt daher die Forderung nahe, *dass moderne, technisch verfasste Gesellschaften lernen müssen, sich von der primären Gefahrenwahrnehmung zu einer rationalen Risikobeurteilung weiterzubilden, um auf Basis dieser Risikobeurteilung ihre Sicherheitspolitik und Sicherheitstechnik zu formulieren*. Diese Forderung ist letztlich keine wissenschaftliche, keine technische, keine ökonomische, sondern eine *ethische* Forderung.

Das Wort „Risiko“ wird in der öffentlichen Debatte in sehr unterschiedlicher Bedeutung verwendet, und es besteht zweifellos ein begrifflicher Rekonstruktionsbedarf. Nun kann man die Bedeutung von Begriffen zunächst grundsätzlich konventionell festlegen. Gerade deshalb muss man sich überlegen, was denn eine *zweckmäßige* begriffliche Festlegung ist. Da es in diesem Zusammenhang auch um Verteilungsprobleme geht – die Verteilung von Risiken und von Chancen –, muss man einen Begriff von Risiko konstruieren, der Verteilungsgesichtspunkten zugänglich ist. Folglich muss es Möglichkeiten geben, so über Risiken zu sprechen, dass sie grundsätzlich untereinander vergleichbar sind. *Verteilbarkeit*

setzt *Vergleichbarkeit voraus*. Ferner darf das Ergebnis eines solchen Vergleichs nicht bloß willkürlich, bloß subjektiv sein; es sind Möglichkeiten zu entwickeln, solche Ergebnisse zu verallgemeinern. *Vergleichbarkeit setzt Verallgemeinerbarkeit voraus*. Man braucht also einen Risikobegriff, mit dessen Hilfe die Aspekte der Verallgemeinerbarkeit, Vergleichbarkeit und Verteilbarkeit beschrieben werden können. Ein solcher Risikobegriff soll kurz als „*rationaler Risikobegriff*“ bezeichnet werden.

Kulturgeschichtlich waren das Sich-versichern und das Wetten die gesellschaftlichen Bedürfnislagen, die für die Entstehung der formalen Wahrscheinlichkeitstheorie stimulierend wirkten und, nachdem man durch Jakob Bernoulli über diese verfügte, die Möglichkeit eröffneten, dem Risikogedanken eine numerische Formulierung zu geben. Danach ist der Grad eines Risikos gleich dem numerisch ausgedrückten Schaden, multipliziert mit der numerisch ausgedrückten Eintrittswahrscheinlichkeit. Dieser Risikobegriff ist *erstens* ein rationaler Risikobegriff nach den eingeführten Kriterien; *zweitens* stellt er eine Hochstilisierung lebensweltlicher Geschickbewältigung dar, er ist also ein primär im kulturellen Handlungsraum des Menschen angesiedelter Begriff. Er ist nicht primär ein „technomorpher“ Begriff, sondern seine Anwendung auf technische Anlagen verdankt sich einem anthropomorphen Transfer auf die Instrumente des technischen Handelns.

Eine Gesellschaft, die sich rational organisieren will, kann nicht darauf verzichten, Handlungsoptionen miteinander zu vergleichen, indem sie Risiken miteinander vergleicht. Risikovergleiche dienen grundsätzlich der Klärung der *Akzeptabilität* von Folgen einer Handlung, die man jemandem (einschließlich sich selbst) zumuten will. In diesem Zusammenhang ist es sehr wichtig, zwischen der Akzeptanz und der Akzeptabilität von

Risiken zu unterscheiden. Unter *Risikoakzeptanz* ist die faktische, im günstigen Fall empirisch-sozialwissenschaftlich beschreibbare Bereitschaft eines Individuums oder einer Gruppe zu verstehen, eine Handlung zu vollziehen oder zuzulassen, die gefährliche Folgen nach sich ziehen kann. Es gibt keine Garantie dafür, dass das faktische Akzeptanzverhalten von Individuen und Kollektiven widerspruchsfrei in sich oder verträglich mit einfachen Rationalitätsstandards ist. Deswegen ist unabdingbar, dass gegenüber der faktischen Akzeptanz ein Begriff der *Akzeptabilität* formuliert wird. Wir brauchen Standards und Normen, von deren Erfüllung abhängig gemacht wird, ob eine bestimmte Einschätzung zuverlässig ist oder nicht.

Nun wird bezweifelt, ob man solche Akzeptabilitätskriterien überhaupt formulieren kann, und eine entscheidende Ursache für die gegenwärtige Technikskepsis liegt in diesem Zweifel begründet. Man kann allerdings in der Tat nicht mit Akzeptabilitätskriterien rechnen, die uns erlauben würden, die Ausführung oder Unterlassung bestimmter Handlungen *kategorisch* vorzuschreiben. Dies wäre eine Illusion. Es wird allerdings diese Illusion gerne in polemischer Absicht herangezogen, um generell die Aussichtslosigkeit des Versuchs der Formulierung von Akzeptabilitätskriterien zu demonstrieren. Dabei wird übergangen, dass es sehr wohl die Möglichkeit gibt, *hypothetische* Imperative zu formulieren, und in fast allen Handlungskontexten reichen hypothetische Imperative zum Zweck der Handlungsorientierung aus. Die Formulierung solcher hypothetischer Handlungsvorschriften ist grundsätzlich ohne Weiteres möglich, und wir machen in Alltag, Technik und Wissenschaft auch ständig von dieser Möglichkeit Gebrauch. Solche Vorschriften lassen sich allerdings nur rechtfertigen, wenn der Einzelne für sich und die Gesellschaft als Ganzes bereit

sind, ein Prinzip anzuerkennen und zu unterstellen, das man als Prinzip der *pragmatischen Konsistenz* bezeichnen kann. Es besagt: Wenn du bereit bist, ein Risiko in Bezug auf eine Handlung auf dich zu nehmen, dann musst du auch bereit sein, ein Risiko in Bezug auf eine andere Handlung (der gleichen „Risikoklasse“) in Kauf zu nehmen, das kleiner oder höchstens gleich groß ist (der Nutzen sei als *ceteris-paribus*-Bedingung gleichgesetzt). Dieses Prinzip verlangt, dass jedermann bestrebt ist, Konsistenz in seinem Handeln zu wahren. Dies gilt sowohl für den Einzelnen als auch vor allem, und hier ist es besonders folgenreich, für die Gesellschaft als Quasi-Akteur.

Die Forderung der pragmatischen Konsistenz hat zur Folge, dass man dann, wenn jemand durch die Wahl einer Lebensform den Grad eines Risikos akzeptiert, diesen Grad auch für eine zur Debatte stehende Handlung mit gleichem oder größerem Nutzen unterstellen darf. Grundsätzlich ist also von den Mitgliedern moderner Gesellschaften – da sie von den Errungenschaften dieser Gesellschaften profitieren möchten – zu verlangen, dass sie gegebenenfalls auch eine entsprechende, wohlüberlegte Risikobereitschaft an den Tag legen müssen.

Auf der Grundlage des Prinzips der pragmatischen Konsistenz lässt sich nunmehr versuchen, einen Beitrag zur Definition des Begriffes der „Sicherheit“ zu leisten. Dabei ist zunächst die häufig anzutreffende Verwendungsweise zurückzuweisen, die unterstellt, Sicherheit sei definitionsäquivalent mit faktischer Störfall- oder Unfallfreiheit. Denn eine Handlungsfolge kann faktisch durchaus unfall- oder störfallfrei sein und gleichwohl mit hohem Risiko behaftet. Wenn wir zum Beispiel eine Anlage als sicher bezeichnen, sagen wir nicht etwas über ihren Zustand aus, wie er ist, sondern wie er *sein soll*. Sicherheit ist zunächst ein normativer Begriff,

und zwar so, dass die Sachverhalte, auf die er sich bezieht, komparativ geordnet sind. Daher sollte man eine Bedeutungscharakterisierung damit beginnen, dass man untersucht, unter welchen Bedingungen etwas sicherer als etwas anderes ist. Wenn wir einmal unterstellen, dass etwas dann sicherer als etwas anderes ist, wenn es risikoärmer ist, dann müsste die vorgeschlagene Explikation des Begriffes „Risiko“ auch einen Ansatz zur Präzisierung des Begriffes der „Sicherheit“ liefern.

Ohne sie hier im Einzelnen rechtfertigen zu können, scheinen die folgenden *vier Postulate* eine geeignete und ausreichende Explikation des Prinzips der pragmatischen Konsistenz zu sein, um den Begriff der Sicherheit zu definieren:

— ● —

Begrenzbarkeitspostulat

*Verwerfe diejenige
Handlung, deren
Handlungsfolgenraum
pragmatisch
unabgrenzbar ist!*

— ● —

Logisch dürfte leicht einsehbar sein, dass ein prinzipiell unabgrenzbarer Handlungsfolgenraum immer eine unendliche Gefahr nach sich zieht, und deswegen wäre eine entsprechende Handlung moralisch zu verwerfen. Das ist nun ein allgemeines Leitprinzip, das noch einigen Klärungsbedarf mit sich bringt. Zum Beispiel ist die Frage zu klären, wie

überhaupt ein Handlungsfolgenraum definiert wird, denn bei geeigneter Rekonstruktion zieht jede Handlung einen unendlichen Handlungsfolgenraum nach sich. Der Klärung derartiger Fragen sollen die drei weiteren Postulate dienen:

— • —

Überschaubarkeitspostulat

Von zwei alternativen
Handlungs-
möglichkeiten
wähle (bei gleicher Chance)
diejenige, deren
Handlungsfolgenraum
kleiner ist!

— • —

Um herauszufinden, was die Folgen unseres Handelns sind, bedarf es natürlich eines gewissen Wissensstandes. Wir müssen ja die Kausalitäten oder wenigstens die konditionalen Verhältnisse kennen, die zwischen den Handlungsfolgen bestehen oder nicht bestehen. Und dies können wir nur, indem die Wissenschaften uns entsprechende Kausalverhältnisse auch rekonstruieren. Aus dem Postulat der Überschaubarkeit ergibt sich also unmittelbar ein *Forschungsgebot*. Risikominimierung oder Sicherheitserhöhung bedarf der wissenschaftlichen Forschung. Wer Risikominimierung fordert, aber entsprechende Forschung behindert, verwickelt sich in einen Selbstwiderspruch.

— • —

Beherrschbarkeitspostulat

Wenn zwei Handlungen
mit überschaubaren
Handlungsfolgen zur
Verfügung stehen, wähle
(bei gleicher Chance)
diejenige, deren
Handlungsfolgen besser
beherrschbar sind!

— • —

Gemeint ist hier die technische Beherrschbarkeit, das heißt, hier geht es darum, Risiken, die eventuell auch durch technische Implementierungen entstehen, durch Technik beherrschbar zu machen.

— • —

Zurückführbarkeitspostulat

Von zwei Handlungen
mit überschaubaren und
beherrschbaren Handlungs-
folgenräumen wähle
(bei gleicher Chance) diejenige,
deren Handlungsfolgen
eher revidierbar sind!

— • —

Der hier explizierte Vorschlag geht nun dahin, eine Handlungsoption dann „*sicherer als eine andere*“ zu nennen, wenn sie die Kriterien (a) bis (d) besser erfüllt. Dieses Verständnis von „Sicherheit“ hat zur Folge, dass das in den Sicherheitskriterien implizierte komparative Verhältnis immer deutlich gemacht werden muss. Das „Sicherermachen“ ist eine tendenziell unendliche Aufgabe, es gibt nicht *den* sicheren Zustand. Jeder Schritt hin zu größerer Sicherheit muss im Rahmen eines Risikovergleichs auch daraufhin überprüft werden, ob die mit ihm verbundenen Kosten nicht an anderer Stelle effektiver eingesetzt werden können.

Sicherheitsfragen beim Einsatz von Nanomaterialien

Mit dem zunehmenden Einsatz von Nanotechnologie in verschiedenen Produkten wird vor allem die Frage der umweltseitigen Auswirkungen ihrer Verwendung gestellt. Diese stellen einen wesentlichen Teil des Folgenraums dar, der zur Beurteilung von Sicherheitsfragen beim Einsatz von Nanomaterialien bekannt oder zumindest einschätzbar sein sollte.

Zur Abschätzung des Folgenraums lassen sich prinzipiell dieselben Ansätze wie bei der Beurteilung von Umweltauswirkungen durch Emissionen klassischer Schadstoffe in die Umwelt verfolgen. Eine grobe Betrachtung der Übertragung des Ansatzes auf den Bereich der Nanomaterialien zeigt Grenzen der Abschätzbarkeit und damit Grenzen für die sichere Handhabung der Materialien auf. Nanotechnologien und damit Nanomaterialien zeichnen sich insbesondere durch Unterschiede in ihren funktionellen Eigenschaften aus, die sich aufgrund der puren Größenunterschiede einzelner Bestandteile im Vergleich zu anderen Materialien mit prinzipiell gleicher chemischer Zusammensetzung ergeben. Sie lassen sich damit nicht rein chemisch durch ihre einzelnen Elemente identifizieren, sondern auch Form beziehungsweise

Größe der Bestandteile sind relevant. Ein Team um Günter Schmid schlägt zum Beispiel in der Studie der Europäischen Akademie „Nanotechnology“ die folgende Definition vor: „Nanotechnologie umfasst die aufkommenden Anwendungen der Nanowissenschaften. Nanowissenschaften beschäftigen sich mit funktionalen Systemen, die entweder auf dem Gebrauch von Untereinheiten mit spezifischen größenabhängigen Eigenschaften oder von einzelnen oder kombinierten funktionalisierten Untereinheiten basieren.“¹

Zur Analyse von Umweltauswirkungen chemischer Stoffe hat sich vor allem im Energiebereich die Ermittlung und Bewertung von Umweltauswirkungen durch stoffliche Emissionen in die Umwelt anhand der so genannten Wirkungspfadanalyse etabliert. Sie ist eine Bottom-up-Methode, mit der die kausalen Zusammenhänge zwischen Ausbringung und verschiedenen Auswirkungen schrittweise verfolgt werden. Die Methode zielt zunächst auf die Bewertung in monetären Einheiten. Ist diese nicht möglich oder zu unsicher, können jedoch auch Zwischenergebnisse für die Gesamtbeurteilung herangezogen werden². Maßgeblich zu ihrer Entwicklung waren Arbeiten in den von der Europäischen Kommission geförderten ExternE-Projekten³. Die Methode wird unter anderem in der „Methodenkonvention zur Schätzung externer Kosten“ des deutschen Umweltbundesamts empfohlen.⁴

Bei der Wirkungspfadanalyse ermittelt man zunächst konkrete Emissionsmengen in die Umwelt. Darauf aufbauend wird die räumliche und zeitliche Verteilung und Umwandlung von Stoffen abgeschätzt. Die resultierenden Konzentrationskarten werden im nächsten Schritt dazu verwendet, die Exposition sensitiver Elemente in der Umwelt zu berechnen. Für klassische Schadstoffe sind hier vor allem Menschen, Materialien, Feldpflanzen und Ökosysteme relevant. Mit so genannten Expositions-Wirkungsbe-

ziehungen können dann resultierende Auswirkungen abgeschätzt werden, die man letztendlich auch noch ökonomisch oder zum Beispiel anhand multikriterieller Bewertungsmethoden (MCA) bewerten kann. Wesentliche Vorteile dieser Methode liegen darin, dass eine direkte Verbindung von Verursacher und Umweltauswirkung abgeleitet werden kann und dass die Bewertung an einzelnen relevanten bewertbaren Auswirkungen ansetzt.

Probleme bei der Anwendung der Methode auf Auswirkungen von Nanomaterialien ergeben sich bereits im ersten Schritt, der Ermittlung der Emission. Hierbei muss angegeben werden, welche Materialien in welcher Menge und in welchem Aggregatzustand in die Umwelt gelangen. Dabei muss der komplette Lebenszyklus berücksichtigt werden, das heißt die Produktion, die eigentliche Verwendung der Produkte und die Entsorgung. Des Weiteren sind die notwendigen Prozesse in Forschung und Produktentwicklung zu berücksichtigen, die die Grundlage für die Verwendbarkeit der Produkte darstellen.

Ausgehend von den Emissionen werden die Ausbreitung und die chemischen Reaktionen der Partikel in der Umwelt modelliert. In diesem Punkt bestehen bereits hohe Unsicherheiten. Um Abschätzungen durchführen zu können, ist unter anderem zu klären, ob sich die Materialien an anderen Partikeln anlagern, wie die typische Größenverteilung der Partikel ist und ob die Nanobestandteile Einfluss auf die Wirkung der Partikel als Kondensationskeime für Wolken oder das Ausregnen der Partikel haben.

Für den Pfad der Ausbreitung über Wasser und Boden ergeben sich ähnliche Fragen. Hier sind allerdings neben den chemisch-physikalischen Prozessen auch lebende Organismen zu berücksichtigen. Zusätzlich sind die Zeiträume für die Ausbreitung der Stoffe sehr viel länger als in der Atmosphäre. Neben der Ausbreitung sind auch die chemische Umwandlung und Änderungen ihrer physikalischen Eigenschaften zu

berücksichtigen. Abschließend ergibt sich die Frage, welche Wirkungen die Nanomaterialien auf die Eigenschaften der Umwelt, auf Organismen und Materialien entfalten, wenn sie auf verschiedene Art und Weise von Menschen, Tieren oder Pflanzen aufgenommen werden, beziehungsweise sich in Umweltbereichen, wie zum Beispiel in Teilen der Atmosphäre oder auf Gebäudefassaden anreichern.

Eine Erhöhung der Konzentration an Nanopartikeln in der Atmosphäre könnte zum Beispiel direkt oder über die Wolkenbildung Auswirkungen auf den Klimawandel haben. Sollten die Nanomaterialien spezielle Absorptionsbanden aufweisen, können sich dadurch Klimaauswirkungen verstärken. Für die Abschätzung der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sind neben toxikologischen Erkenntnissen im Falle der Ausbringung in die Umwelt vor allem epidemiologische Studien notwendig. In ihnen wird der Zusammenhang von gemessenen Konzentrations- beziehungsweise Expositionsanstiegen mit Krankheitsfällen statistisch untersucht. Diese Studien sind bereits bei klassischen Feinpartikeln, vor allem bezüglich Langzeitexposition, mit hohen Unsicherheiten behaftet. Zur Berücksichtigung von Nanomaterialien in solchen Studien müssten über geeignete Messmethoden Anteile von spezifischen Nanomaterialien an der Partikelkonzentration analysiert werden. Diese sind noch zu entwickeln, da nicht nur die stofflichen Komponenten und die Größen der Anteile, sondern unter Umständen sogar ihre Form und Verteilung relevant sein können. Entsprechend wird es für Nanomaterialien methodisch schwierig und aufwendig sein, in epidemiologischen Studien verlässliche statistische Korrelationen zu ermitteln.

Aus dieser groben Betrachtung der Anwendung etablierter Methoden für die Analyse von Umweltauswirkungen auf den Bereich der Nanotechnologien zeigen sich bereits einige große Unsicherheiten und fehlendes

Wissen für belastbare Abschätzungen. Das gilt sowohl dann, wenn in die Umwelt eingebrachte Partikel neuartige funktionelle Eigenschaften haben, als auch dann, wenn sich der Anteil von (eventuell bereits natürlich vorkommenden) Partikeln mit spezifischen funktionellen Eigenschaften erhöht. An der Art der beschriebenen Unsicherheiten ist zu erkennen, dass diese sich nur mit großem Forschungsaufwand reduzieren lassen.

Zur Beurteilung der Sicherheit von Nanotechnologien können die oben beschriebenen vier Postulate, die abgeleitet wurden, um eine pragmatische Konsistenz im Umgang mit den neuen Technologien zu gewährleisten, herangezogen werden. Vor dem Hintergrund der aufgezeigten Unsicherheiten in den Abschätzungen von Umweltfolgen können sie wie folgt interpretiert werden:



Begrenzbarkeitspostulat

Mit Nanomaterialien in einer Form, in der sie schädliche Auswirkungen auf ihre Umwelt haben können, darf nur innerhalb eines Raumes frei umgegangen werden, in dem die Möglichkeiten zur Ausbreitung und chemischen Umwandlung sowie die Auswirkungen bekannt und begrenzt sind. Eine Umwandlung von Nano-

materialien in unschädlicher Form in Materialien, die schädliche Auswirkungen auf ihre Umwelt haben können (z.B. kleinste Partikel mit speziellen Eigenschaften), darf nicht außerhalb solcher Räume geschehen.



Um eine möglichst hohe Sicherheit beim Umgang mit den Nanomaterialien zu gewährleisten, sollte beim derzeitigen Stand des Wissens im Rahmen der Technikfolgenabschätzung eine Ausbringung von Nanopartikeln mit besonderen Eigenschaften in die Umwelt nicht oder nur in kleinsten Dosen erfolgen. Da theoretisch für keine Handlung alle Folgen absehbar sind, ist (gesellschaftlich) festzulegen, unter welchen Voraussetzungen beziehungsweise Rahmenbedingungen (in welchem Maße) eine Begrenzbarkeit gefordert wird.

Zur komparativen Einordnung verschiedener Nanotechnologien in Bezug auf ihre Sicherheit können die drei weiteren Postulate herangezogen werden:



Überschaubarkeitspostulat

Bei gleichen Chancen wähle diejenige Nanotechnologie,

deren Erforschung, Entwicklung, Produktion und Verwendung mit geringeren Folgen zusammenhängt.



Implizit ist damit klar, dass Nanomaterialien nur in einer Weise verwendet werden sollten, für die eine Abschätzung der Auswirkungen möglich ist, zumindest in dem Maße, dass gesagt werden kann, welche Technologie mit höheren Folgen verbunden ist. Eine Erhöhung des Wissens über die kausalen Zusammenhänge bietet damit die Grundlage für die Entwicklung hin zu mehr Sicherheit beziehungsweise eine Reduktion der Risiken im Umgang mit Nanotechnologien.



Beherrschbarkeitspostulat

Bei gleichen Chancen wähle diejenige (Nano-) Technologie, deren Auswirkungen besser beherrschbar sind.



Es sind also solche Technologien vorzuziehen, für die Expositionen empfindlicher Rezeptoren mit potenziell schädlichen Bestandteilen der Materialien durch entsprechende

Schutzmaßnahmen besser, also mit geringerem Aufwand, vermeidbar sind als andere.



Zurückführbarkeitsspostulat

Bei gleichen Chancen

wähle diejenige

(Nano-)Technologie, deren

Auswirkungen eher

revidierbar sind.



Es sind also Technologien vorzuziehen, deren Auswirkungen besser wieder zu beseitigen, die betroffenen Bereiche also besser, mit geringerem Aufwand, in einen Zustand überführbar sind, der sich ohne die Belastung mit Nanomaterialien ergeben hätte.

Fazit

In der Summe ist eine Nanotechnologie nach der vorgestellten Methodik dann als sicherer als eine andere zu bezeichnen, wenn die Handlungsfolgen, also die möglichen Auswirkungen der Prozesse im Rahmen ihrer Erforschung, Entwicklung, Produktion und Verwendung abschätzbar geringer sind, durch Technik beherrschbarer sind und eher revidierbar sind als bei der alternativen Technologie. Anhand dieser Kriterien können Verfahren im Umgang mit den Technologien zunehmend sicherer gestaltet werden. Das Begrenzbarkeitsspostulat fordert zusätzlich, dass die Folgen begrenzt werden können.

Da eine Begrenzung von Folgen theoretisch für keine Handlung möglich ist, sollten gesellschaftlich Voraussetzungen und Rahmenbedingungen vorgegeben werden, unter denen die Gewährleistung einer Begrenzbarkeit gegeben sein muss.

Um sukzessive eine höhere Sicherheit im Umgang mit Nanotechnologien zu erreichen, sollten die Abschätzungen von Technikfolgen verbessert sowie Technologien zur Beherrschung der Prozesse zur Nutzung der Nanomaterialien und zur Reparatur möglicher Auswirkungen entwickelt werden. Sowohl die Abschätzungen als auch, und vor allem, die ergänzenden Technikentwicklungen müssen auf die jeweiligen Nanomaterialien und ihre spezifischen Eigenschaften abgestimmt werden.

Zur Verringerung der oben angedeuteten Unsicherheiten im Bereich der Folgenabschätzung sind methodische Weiterentwicklungen in einigen wissenschaftlichen Bereichen notwendig. Ist eine Ausbringung von Partikeln, die Nanomaterialien mit spezifischen neuen Funktionen enthalten, in die Umwelt möglich, sollten neben toxikologischen Untersuchungen auch Prozesse der Ausbreitung und Umwandlung in der Umwelt, wie zum Beispiel unter anderem die umweltphysikalischen und chemischen Eigenschaften der eingebrachten Partikel(-bestandteile), untersucht werden. Die Ergebnisse sollten so aufbereitet werden, dass sie in entsprechende Modelle eingebaut und in die Analysen integriert werden können. Für die Durchführung solcher und weiterer Arbeiten ist vor allem eine ausreichende Förderung interdisziplinärer Forschung notwendig. Relevant für eine weiter gefasste Technikfolgenanalyse sind dabei nicht nur Technikwissenschaften und Naturwissenschaften, sondern auch Umweltökonomik, Rechtswissenschaften und Technikfolgenbeurteilung/Wissenschaftsethik.

Summary

Uncertainty and inequality are the most important phenomena that lead to the situation in which the modern technical age in contrast to the pre-modern technical phase gives rise to specifically moral problems which in the pre-modern era played only a marginal role or no role at all. So modern technically constituted societies must learn to develop from the initial perception of dangers to a rational risk assessment. In order to justify this ethical obligation "Safety" is explicated as a comparative concept by means of the principle of pragmatic consistency. The application of nano-materials is an example of a technology which is currently much debated with respect to safety purposes. Major issues are potential effects from releasing particles of nano-materials to the environment. Consulting established methodologies for the assessment of environmental risks of chemical pollutant emissions shows that the estimation of impacts from particles including specific nano-materials would require substantial revising existing and introducing new modelling parameters. Following the principle of pragmatic consistency, it is clear that the application of specific nano-materials is safer than an alternative option if it can be assessed that the connected impacts are smaller, better controllable and better reversible than following the alternative. In parallel such an application must comply with the minimum acceptable level of safety which has to be fixed by society. Relying on these findings the level of safety of specific technologies and, thus, their applicability, can be increased by improving impact estimations as well as technologies for handling nano-materials and recovering the related impacts. For a broad assessment of the technologies, many disciplines will have to be considered in interdisciplinary studies, including

environmental economics, jurisprudence, and ethics of science.

Anmerkungen

- 1) Schmid et al. (2006)
- 2) Droste-Franke 2005, S. 67ff
- 3) Europäische Kommission 1995, 1999, 2004
- 4) Umweltbundesamt 2007

Literatur

- Droste-Franke, Bert: Quantifizierung von Umweltschäden als Beitrag zu Umweltökonomischen Gesamtrechnungen, Dissertation, Universität Stuttgart. OPUS, Stuttgart 2005
- Europäische Kommission: ExternE, Externalities of Energy, ExternE Report Vol. 2, Methodology, European Commission, DG XII, Science, Research, and Development, EUR 16521, Brüssel 1995
- Europäische Kommission: Externalities of Energy, Vol. 7 Methodology 1998 update, European Commission, DG XII, EUR 19083, Brüssel 1999
- Europäische Kommission: ExternE, Externalities of Energy – Methodology 2005 Update, Directorate-General for Research, EUR 21951, Brüssel 2004
- Gethmann, Carl Friedrich: „Zur Ethik des Handelns unter Risiko im Umweltstaat“, in: Ders./M. Klopfer (Hg.): Handeln unter Risiko im Umweltstaat, Berlin 1993, 1–54
- Gethmann, Carl Friedrich: Das Setzen von Umweltstandards als Ausdruck gesellschaftlicher Risikobewältigung, in: G.-R. Wagner (Hg.): Ökonomische Risiken und Umweltschutz, Wiesbaden 1992, 11–26
- Gethmann, Carl Friedrich: Ethische Probleme der Verteilungsgerechtigkeit im Umweltstaat, in: Ders./M. Klopfer/S. Reinert: Verteilungsgerechtigkeit im Umweltstaat, Bonn 1995, 1–22
- Schmid, Günter et al.: Nanotechnology. Assessment and Perspectives, Ethics of Science and Technology Assessment Nr. 27, Berlin 2006
- Umweltbundesamt: Ökonomische Bewertung von Umweltschäden, Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten, Umweltbundesamt der Bundesrepublik Deutschland, Berlin 2007

Die Autoren

Nach dem Studium der Philosophie in Bonn, Innsbruck und Bochum sowie der Promotion an der Ruhr-Universität Bochum habilitierte sich Carl Friedrich Gethmann 1978 für Philosophie an der Universität Konstanz. 2003 wurde ihm eine Ehrenpromotion der Berliner Humboldt-Universität verliehen. Von 1979 bis 2012 war er Professor für Philosophie an

der Essener Universität (später Duisburg-Essen) und nahm weitere Lehrtätigkeiten an den Universitäten Düsseldorf und Göttingen wahr. Von 1996 bis 2012 war Carl Friedrich Gethmann Direktor der Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen in Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH. Seit 2012 ist er Professor am Forschungskolleg „Zukunft menschlich gestalten“ der Universität Siegen, seit 2010 Honorarprofessor an der Universität zu Köln. Carl Friedrich Gethmann ist Mitglied der Academia Europaea (London), der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften; der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina (Halle); der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) und Mitglied der Bio-Ethik Kommission des Landes Rheinland-Pfalz. Von 2006 bis 2008 war er Präsident der Deutschen Gesellschaft für Philosophie e.V. Er erhielt das Verdienstkreuz am Bande der Bundesrepublik Deutschland. Carl Friedrich Gethmanns Forschungsschwerpunkte sind Sprachphilosophie/Philosophie der Logik, Phänomenologie und Angewandte Philosophie (Medizinische Ethik/Umweltethik/Technikfolgenabschätzung).

Bert Droste-Franke studierte Physik mit dem Nebenfach Wirtschaftswissenschaften an den Universitäten Göttingen und Heidelberg. Von 1995 bis 1996 schrieb er seine Diplomarbeit zum Thema „Flugzeuggetragene Acetonmessungen in der oberen Troposphäre: Implikationen für die Atmosphärenchemie“ am Max-Planck-Institut für Kernphysik im Bereich Atmosphärenphysik. 1996 schloss er sein Studium als Diplom-Physiker an der Universität Heidelberg ab; 2004 promovierte Droste-Franke zum Dr.-Ing. mit der Arbeit „Quantifizierung von Umweltschäden als Beitrag zu Umweltökonomischen Gesamtrechnungen“ an der Universität Stuttgart. Von 1996 bis 2006 war er Stipendiat und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart: Er arbeitete in Projekten und leitete sie. Außerdem übte Droste-Franke Beratungstätigkeiten aus, unter anderem für die Europäische Kommission, nationale Institutionen und die Weltbank Gruppe im Bereich Ermittlung von physischen Umweltschäden und Umweltschadenskosten durch wirtschaftliche Aktivitäten zur Politikberatung. Zudem entwickelte er das integrierte Softwaretool „EcoSense“ zur Berechnung von Umweltschäden durch Schadstoffe und Arbeiten zur Integration von Modellen weiter. Seit 2006 ist Bert Droste-Franke wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektkoordinator an der Europäischen Akademie GmbH in interdisziplinären Projekten zur Implementierung von Energietechnologien und zur Analyse von Energiesystemen mit dem Ziel einer zukunftsfähigen Energieversorgung. Seine Forschungsschwerpunkte sind Technikfolgenberechnung und -beurteilung, Umweltphysik und Umweltökonomie.

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/70483

URN: urn:nbn:de:hbz:464-20190822-143924-3

Erschienen in: UNIKATE 43 (2013), S. 100-108

Alle Rechte vorbehalten.