

Gestaltsehen der Zukunft: Bildwelten der zukünftigen Nanotechnologie und Nanomedizin in Wissenschaft und Politik

Schaper-Rinkel, Petra

Sammelwerksbeitrag / collection article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Schaper-Rinkel, P. (2007). Gestaltsehen der Zukunft: Bildwelten der zukünftigen Nanotechnologie und Nanomedizin in Wissenschaft und Politik. In F. Stahnisch, & H. Bauer (Hrsg.), *Bild und Gestalt: wie formen Medienpraktiken das Wissen in Medizin und Humanwissenschaften?* (S. 245-263). Hamburg: Lit Verl. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-268534>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-ND Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY-NC-ND Licence (Attribution-Non Commercial-NoDerivatives). For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

Schaper-Rinkel, P. (2007). *Gestaltsehen der Zukunft: Bilder der zukünftigen Nanotechnologie und Nanomedizin in Wissenschaft und Politik Bild und Gestalt. Wie formen Medienpraktiken das Wissen in Medizin und Humanwissenschaften?* Frank Stahnisch and H. Bauer. Münster, LIT-Verlag., S. 245-263

Petra Schaper-Rinkel

Gestaltsehen der Zukunft: Bildwelten der zukünftigen Nanotechnologie und Nanomedizin in Wissenschaft und Politik

Leitbilder, Visionen, Metaphern und Szenarien einer *zukünftigen* Nanomedizin formen die Generierung von *aktuellem* Wissen. Welche Gestalt die Nanotechnologien – die Manipulation von Materie auf atomarer Ebene – und Nanomedizin in der Zukunft annehmen werden, ist ungewiss. Bilder dienen in dem Prozess der Entwicklung einer Zukunftstechnologie der Verständigung von Akteuren aus Wissenschaft, Politik, Wirtschaft und Medizin. Bilder einer zukünftigen Nanomedizin verweisen auf einen Modus des *Wissenstransfers* zwischen den beteiligten Disziplinen (Medizin, Nanowissenschaften, Nanobiotechnologie etc.) als auch zwischen speziellen Fachdisziplinen, politischen Institutionen (insbesondere der Forschungsförderung) und einer allgemeinen Öffentlichkeit. Zugleich bieten Bilder und Metaphern einen *Verhandlungsmodus*, mit dem mögliche Richtungen von Forschung und Entwicklung zwischen unterschiedlichen Akteuren ausgehandelt werden.

Der polnische Mikrobiologe, Arzt und Wissenschaftsforscher Ludwik Fleck (1896-1961), stellte eine enge Verknüpfung zwischen dem Denken und dem Sehen für den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess fest. Die Herausbildung eines spezifischen wissenschaftlichen Denkstils ist gekoppelt – so Fleck – an die Fähigkeit, eine spezifische Sehweise zu entwickeln. So genanntes Gestaltsehen (das bei ihm nicht auf zukünftige Entwicklungen bezogen ist, sondern auf Erkenntnisprozesse im mikrobiologischen Labor) ist das Ergebnis eines spezifischen Denkstils.

„Wir können also *Denkstil als gerichtetes Wahrnehmen, mit entsprechendem gedanklichen und sachlichen Verarbeiten des Wahrgenommenen definieren.*“¹

Ähnlich verhält es sich mit dem Gestaltsehen potentieller Zukünfte: Ein spezifischer Denkstil (der verknüpft ist mit einem entsprechenden Gestaltsehen in Form von Zukunftsbildern und hypothetischen Modellen) bietet die Möglichkeit eines gerichteten Wahrnehmens auf ein zukünftiges Ziel hin. Lässt sich also Flecks begriffliches Instrumentarium nutzen, um die Entwicklung der Nanotechnologie und der Nanomedizin als einen interaktiven soziotechnischen und wissenschaftspolitischen Prozess zu analysieren? Dieser Versuch soll im Folgenden unternommen werden.

Flecks Ausgangspunkt war die medizinische Forschung. Sowohl die medizinische Forschung als auch die Entwicklung einer Schlüsseltechnologie sind anwendungsorientiert. Im Zentrum der Nano-Forschung steht (wie in der Medizin) nicht die abstrakte Erkenntnis; Ziel ist vielmehr die Realisierung von Anwendungen sowie die konkrete Entwicklung von neuen Verfahren (Prozessinnovationen) und von neuen Produkten (Produktinnovationen). In der Forschungsförderung und Technologiepolitik der Nanotechnologie bilden nanotechnologische Innovationen in Medizin und ‚Life Sciences‘ einen wichtigen Schwerpunkt.² Von Beginn an ist die Diskussion zukünftiger nanotechnologischer Entwicklungen immer auch an Innovationen im medizinischen Bereich festgemacht worden und mit Bildern einer ganz neuen Medizin verknüpft.³ Die so genannte Nanomedizin ist durch einen spezifischen Denkstil gekennzeichnet, der die molekulare Ebene fokussiert und dabei funktionale Maschinenbilder mit Bildern aus organisch-biologischen Traditionen verbindet. Wie entwickelt sich die Bildersprache der Nanotechnologie und Nanomedizin und welche Bedeutung haben diese Bilder in Bezug auf die Konstituierung des transdisziplinären Feldes?

Vom Gestaltsehen zur Bildpolitik: Bilder und Leitbilder in der Technologiepolitik

Die Entwicklung eines Denkstils ist für Fleck mit einem spezifischen Gestaltsehen verbunden. Er verdeutlicht das Gestaltsehen an den Gestalten des Alltags: Um etwas zu

¹ Ludwik Fleck: *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache* (1935). Frankfurt am Main: Suhrkamp 1980; hier S. 130.

² Robert Farkas: *Nanotechnologie pro Gesundheit: Chancen und Risiken. Innovations- und Technikanalyse. Eine Veröffentlichung des BMBF.* Aachen 2004; VDI Technologiezentrum: *Leitinnovation NanoForLife. Nanotechnologien für Life Sciences und Gesundheit.* Düsseldorf 2004; Volker Wagner und Dietmar Wechsler: *Nanobiotechnologie II. Anwendungen in der Medizin und Pharmazie.* Düsseldorf 2004.

erkennen, müssen wir wissen, welches die Hauptmerkmale einer Gestalt sind und welche vernachlässigt werden können. Ein Kind erobert sich mühsam das Wissen, wie die Buchstaben des Alphabets aussehen; Erwachsene nehmen die visuelle Gestalt der Buchstaben ohne Analyse der Einzelheiten wahr und ohne dass sie aktuell um die Einzelheiten wissen. Es ist sogar notwendig, einen gewissen Teil dieses Wissens um Einzelheiten wieder zu vergessen, um eine „gerichtete Bereitschaft“ zum spezifischen Sehen zu besitzen. „Wir schauen mit den eigenen Augen, wir sehen mit den Augen des Kollektivs“⁴. Die Anatomen – so Fleck – lernen, die charakteristischen Organe zu sehen, in derselben Weise, wie Kinder Buchstaben erlernen. Und schließlich musste die unbekannte Welt, die sich unter dem Mikroskop zeigte, ebenfalls erst erkannt werden. Die ‚einfachen‘ dort zu sehenden Gestalten werden mit Gestalten aus dem Alltag verglichen (wie die Begriffe von Stäbchen, Kügelchen, Spiralen). Um jedoch komplexe Strukturen zu sehen, mussten „Schablonen“ in einem kollektiven Prozess entwickelt werden, die die neuen Gestalten festschreiben.⁵ Erst

„nach vielen Erlebnissen, eventuell nach einer Vorbildung, erwirbt man die Fähigkeit, Sinn, Gestalt, geschlossene Einheit unmittelbar wahrzunehmen. Freilich verliert man zugleich die Fähigkeit, der Gestalt Widersprechendes zu sehen.“⁶

Die Bereitschaft für ein solchermaßen gerichtetes Wahrnehmen ist das Kernelement eines spezifischen Denkstils. Ein Denkstil besteht primär im „Bereitsein für solches und nicht anderes Sehen und Handeln“⁷. Da das „Erkennen kein individueller Prozess“ ist, verlangt der Satz „jemand erkennt etwas“ einen Zusatz, so dass Fleck nun vorschlägt, den Erkenntniskontext mit dem Begriff des Denkkollektivs zu charakterisieren.

„Definieren wir ‚Denkkollektiv‘ als Gemeinschaft der Menschen, im Gedankenaustausch oder in gedanklicher Wechselwirkung stehen, so besitzen wir in ihm den Träger geschichtlicher Entwicklung eines Denkgebietes, eines bestimmten Wissenbestandes und Kulturbestandes, also eines besonderen Denkstiles.“⁸

³ Eric K. Drexler: Engines of Creation. New York: Anchor Press 1987; hier S. 99-129; Eric K. Drexler et al.: Experiment Zukunft. Die nanotechnologische Revolution. Bonn; Paris; Reading: Addison-Wesley 1991; hier S. 211-238.

⁴ Ludwik Fleck: Erfahrung und Tatsache. Gesammelte Aufsätze. Frankfurt am Main: Suhrkamp 1983; hier S. 154.

⁵ Ebd.; hier S. 160.

⁶ Fleck (Anm. 1), S. 121 f.

⁷ Ebd.; hier S. 85.

⁸ Ebd.; hier S. 55 f.

Da der Denkstil nicht statisch, sondern dynamisch ist, kann jede empirische Entdeckung laut Fleck als Denkstilergänzung, Denkstilentwicklung oder Denkstilumwandlung aufgefasst werden.⁹ Dabei können nicht nur empirische, sondern auch theoretische Entdeckungen einen Denkstil entwickeln und ergänzen, wie hier anhand der Nanotechnologie gezeigt werden soll. Ein Denkstil entsteht nicht aus dem Nichts, vielmehr entwickelt er sich aus Ideen, die oft bereits zuvor als abstrakte Gedanken formuliert wurden. Fleck charakterisiert solche Ideen als „Präideen“, die zu ihrer Zeit keine anerkannten Beweise hatten oder Bestätigungen erhielten, aber den Grundgedanken für viele spätere Theorien bilden konnten. In dieser Weise gefasst lassen sich neuzeitliche Atomtheorien (vom Atom als kleinsten kleinstes, mit chemischen Methoden nicht weiter zerlegbares Teilchen eines Elements) als Präidee auf den vorsokratischen Philosophen Demokrit zurückführen, der den Gedanken von Atomen als kleinsten Teilchen bereits in der Antike formulierte.

Ideen (und ihre Prä-Ideen) sowie Denkstile breiten sich aus, indem sie in anschaulicher Weise einer breiteren Öffentlichkeit dargestellt werden. Eine solche „populäre Wissenschaft“ in Flecks Sinne ist „Wissenschaft für Nicht-Fachleute“, Wissenschaft „für breite Kreise erwachsener, allgemein gebildeter Dilettanten“, wobei sich mit der Popularisierung das Wissen zugleich verändert:

„Anstelle des spezifischen Denkwangs der Beweise, der erst in mühsamer Arbeit herauszufinden ist, entsteht durch Vereinfachung und Wertung ein einfaches Bild.“¹⁰

Modelle und Begriffe spezifischer wissenschaftlicher Disziplinen entstammen oft dem populären Wissensbestand anderer Disziplinen. Fleck nennt als Beispiele die Ökonomen, die vom Wirtschafts-*Organismus* sprechen, die Philosophen, die von der *Substanz* schreiben und auch den Gebrauch des Begriffes des *Zellstaates* durch die Biologen. Um diese, aus dem populären Wissen stammende Wissensbestände „bauen sie ihre fachmännischen Wissenschaften“, wobei sich

„in den Tiefen dieser Wissenschaften immer wieder Bestandteile populären Wissens aus anderen Gebieten [zeigen].“¹¹

⁹ Ebd.; hier S. 122 f.

¹⁰ Ebd.; hier S. 149.

¹¹ Ebd.

In dieser Weise sind die Wissensbestände aus spezifischen Fachdisziplinen eng mit dem allgemeinen Wissensbeständen einer Gesellschaft verbunden. Ludwik Flecks Kategorien eignen sich deshalb gut, um den Prozess zu analysieren, in dem der Nanokosmos sichtbar gemacht und zu einem eigenen Handlungsraum gemacht worden ist. Während der amerikanische Wissenschaftstheoretiker Thomas Kuhn (1922-1996), der sich auf Fleck bezieht und dessen Rezeption in den Vereinigten Staaten erst in Gang gesetzt hat, radikale Brüche (Paradigmenwechsel)¹² analysiert, in denen sich *unvereinbare Positionen* gegenüberstehen, lässt sich mit Flecks Kategorien das *parallele Aufkommen eines neuen Denkstils* – der in Technik wie Medizin auf der Nanoebene der Atome ansetzt – analysieren. Mit Flecks analytischem Herangehen lässt sich die kontinuierliche Verbreitung eines Denkstils in seiner sozialen und politischen Institutionalisierung erfassen.

Fleck analysierte einerseits konkrete Denkstile und ein konkretes Gestaltsehen, und sah andererseits diese in allgemeinen und kollektiven Weltanschauungen kumulieren. Die Ebene zwischen den spezifischen fachdisziplinären Denkstilen und ‚allgemeiner Weltanschauung‘ ist bei ihm am wenigsten ausgearbeitet. Aus politikwissenschaftlicher und innovationstheoretischer Perspektive ist diese Meso-Ebene der gesellschaftlichen Diskurse und Institutionen indes von besonderer Bedeutung, da hier die technisch-wissenschaftliche Entwicklung zwischen Akteuren aus Wissenschaft, Medizin, Industrie und Politik diskursiv gestaltet und verhandelt wird. Für die Technologieentwicklung ist zwischen dem Gestaltsehen konkreter wissenschaftlicher Denkkollektive und den allgemeinen Weltbildern eine sozial und politisch zentrale Ebene des visuellen Denkens konzeptionell mit dem *Leitbildkonzept* entstanden: Leitbilder lassen sich in der Entwicklung neuer Technologien analysieren und sie werden zugleich genutzt, um die Genese von Technologien und Technologiefeldern zu beeinflussen. Im ersten Fall dienen sie der analytischen Re-Konstruktion technischer Entwicklungen; im zweiten der Kanalisierung zukünftiger Entwicklungen.

Leitbilder können dazu dienen, ein ganzes technisches Forschungsfeld zusammenzuhalten, zum Beispiel das der *bemannten Raumfahrt*. Mit technologiepolitischen Leitbildern wie dem der *Ökopolis* werden gesellschaftliche Zukunftsoptionen bildpolitisch vereindeutigt. Leitbilder können verschwinden – etwa das der *autogerechten Stadt* – und

¹² Thomas Kuhn: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen (1962). Frankfurt am Main: Suhrkamp 1973.

durch neue ersetzt werden – zum Beispiel durch das Leitbild des *intermodalen Verkehrs*.¹³ Leitbilder sind Instrumente der Erkenntnis, Medien der Kommunikation, visionäre Hilfsmittel der Konstruktion oder motivierende *Zielleitbilder*. Technische Leitbilder und deren diskursive Entwicklung stellen einen verbindlichen Fokus und motivierenden Rahmen für öffentliche Technikdebatten dar und wirken auf Entscheidungsprozesse in Industrie, Wissenschaft und Politik zurück.¹⁴ Leitbilder lassen sich in dieser Weise als soziale Praxen zur Konstruktion und Rekonstruktion von technologischer Entwicklung begreifen¹⁵ und sie lassen sich als eine Form des *Gestaltsehens der Zukunft* charakterisieren: Sie zeigen das Bild einer *möglichen* Zukunft, für deren Realisierung es einer gemeinsamen Anstrengung unterschiedlicher Akteure bedarf.

Vom Chirurgen in der Blutbahn bis zur Nanomedizin: Der Anfang eines neuen Denkstils

In der Geschichte der Nanotechnologie haben Bilder einer neuen Medizin von Beginn an eine wichtige, wenn auch ambivalente Rolle gespielt. Ambivalent ist die Rolle der Medizin-Bilder insofern, als diese vielfach keine adäquaten Modelle darstellen, sondern sich auf eine illustrative Wunschwelt beziehen. Dies zeigt sich bereits in den Anfängen: Der klassischen Geschichtsschreibung der Nanotechnologie folgend, beginnt ihre Geschichte (retrospektiv betrachtet) am 29. Dezember 1959. An diesem Tag formulierte der amerikanische Physiker und spätere Nobelpreisträger Richard Feynman (1918-1988) auf dem jährlichen Treffen der Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft am *California Institute of Technology* (Caltech) seine Vision von einem Paradigmenwechsel der Miniaturisierung. Unter dem Titel „There’s Plenty of Room at the Bottom“, entwarf er das Bild, statt wie bisher Dinge nur zu verkleinern, sie in ferner Zukunft auch aus den kleinsten Teilchen konstruieren zu können. Zuerst zeichnete er in seinem Vortrag den traditionellen Weg technologischer Reduktion nach: Dabei ist die Miniaturisierung von Werkzeugen notwendig, um die Miniaturisierung von Produkten voranzutreiben. Feynman ging in seinem Vortrag aber noch einen Schritt weiter:

¹³ Meinolf Dierkes et al.: *Leitbild und Technik. Zur Entstehung und Steuerung technischer Innovationen*. Berlin: Sigma 1992.

¹⁴ Weert Canzler und Meinolf Dierkes: *Informationelle Techniksteuerung: Öffentliche Diskurse und Leitbildentwicklungen*. In: Georg Simonis et al.: *Politik und Technik. Analysen zum Verhältnis von technologischem, politischem und staatlichem Wandel am Anfang des 21. Jahrhunderts*. PVS Sonderheft 31. Opladen 2001, S. 457 - 475; hier S. 457.

¹⁵ Petra Schaper-Rinkel: *Die Europäische Informationsgesellschaft. Technologische und politische Integration in der europäischen Politik*. Münster: Westfälisches Dampfboot 2003; hier S. 8-84.

„But I am not afraid to consider the final question as to whether, ultimately – in the great future – we can arrange the atoms the way we want; the very *atoms*, all the way down! What would happen if we could arrange the atoms one by one the way we want them (within reason, of course; you can't put them so that they are chemically unstable, for example).“¹⁶

Zwar benutzte er selbst den Begriff der Nanotechnologie noch nicht, doch sein Vortrag bildet gewissermaßen den allgemeinen Referenzrahmen für das, was heute als Nanotechnologie gefasst und verstanden wird.¹⁷ Sein Vortrag kann damit als Beispiel „populärer Wissenschaft“ verstanden werden, wie sie Ludwik Fleck charakterisiert,¹⁸ denn es handelt sich auch hierbei um eine vereinfachte, anschauliche Darstellung.

Die Vorstellung, das es möglich sein könnte, alles aus den kleinsten physikalischen Teilchen aufzubauen, ruft heute das (seinerzeit noch nicht geläufige) Bild des Lego-Kastens¹⁹ auf und lässt die Manipulation auf atomarer Ebene (theoretisch) als eine Selbstverständlichkeit erscheinen. Feynman skizziert zwei Wege in die Dimension der Nanowelt. Der traditionelle Weg bestehe darin, Strukturen und Objekte bis zur gewünschten Größe zu verkleinern (Top-Down-Ansatz), während der neue Weg dadurch gekennzeichnet sei, die gewünschten Strukturen und Objekte durch kontrollierte Manipulation einzelner Atome oder Moleküle aufzubauen (Bottom-Up-Ansatz). Für den gesamten Bereich der Miniaturisierung lässt sich damit der Anfang einer *Denkstilumwandlung* konstatieren: Statt Verkleinerung (Top-Down-Ansatz) könnte perspektivisch der Aufbau aus den kleinen Teilchen (Bottom-Up-Ansatz) den Durchbruch in der Miniaturisierung bringen. Zugleich ist mit dem Bottom-Up-Ansatz der Anfang einer zukünftigen Entwicklung des neuen Denkstils gesetzt.

Eines von Feynmans konkreten Bildern, die die Vorzüge miniaturisierter Maschinen verdeutlichen sollen, bezieht sich auf medizinische Anwendungen. Er berichtet von der Idee

¹⁶ Richard P. Feynman: There's Plenty of Room at the Bottom. Vortrag am 29. Dezember 1959 (zuerst erschienen in: Engineering and Science). In: California Institute of Technology: <http://www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html> <08.03.2006>.

¹⁷ Insbesondere in der Forschungs- und Technologiepolitik: Gerd Bachmann: Analyse und Bewertung zukünftiger Technologien. Innovationsschub aus dem Nanokosmos. Düsseldorf: VDI Technologiezentrum 1998; Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF: NanoTruck. Reise in den Nanokosmos. Die Welt kleinster Dimensionen. Bonn 2004; National Science and Technology Council: Nanotechnology. Shaping the World Atom by Atom. Washington 1999; Organisation for Economic Co-Operation and Development OECD und Allianz: Small sizes that matter: Opportunities and risks of Nanotechnologies. Report in co-operation with the OECD International Futures Programme. München; Paris: Allianz Center for Technology 2005..

¹⁸ Fleck (Anm. 2); hier S. 149.

¹⁹ Heute wird das Bild von Atomen und Molekülen als eine Art Lego-Baukasten viel genutzt, es verfügt über ein hohes Maß an Plausibilität. Dabei handelt es sich um ein Bild, dass sich erst in letzten Jahren, mit den vielfältigen Ansätzen, Nanotechnologie zu popularisieren Verbreitung gefunden hat. Seinerzeit hätte das Bild wenig Sinn gemacht, denn die weltweite Verbreitung der Lego-Steine begann Anfang der 1960er Jahre: Margret Uhle: Die LEGO Story: der Stein der Weisen. Wien: Ueberreuter 1998.

eines Freundes (Albert R. Hibbs, 1924-2003), nach dessen Ansicht es interessant wäre – „although it is a very wild idea [...] if you could swallow the surgeon“. Dieser mechanische Chirurg – so Feynmans Bildbeschreibung – würde ins Blutgefäß gesetzt werden, in das Herz hinein gehen und könne sich dort umsehen und agieren.

“You put the mechanical surgeon inside the blood vessel and it goes into the heart and ‘looks’ around. (Of course the information has to be fed out.) It finds out which valve is the faulty one and takes a little knife and slices it out. Other small machines might be permanently incorporated in the body to assist some inadequately-functioning organ.”²⁰

Mit diesem Bild sind weniger die heutigen Vorstellungen einer Nanomedizin skizziert als vielmehr zahlreiche Einsatzmöglichkeiten von Mikrosystemtechnik und Medizintechnik. Zwar gibt es noch immer keinen „Chirurgen in der Blutbahn“, doch lassen sich multifunktionale Implantate, die sowohl Messdaten erfassen als auch Funktionen ausüben können, als Entsprechung dieses Leitbildes begreifen. Dazu gehören etwa intelligente Herzschrittmacher oder auch Cochlea-Implantate für Gehörlose.²¹

Feynman steht heute für die Präidee, eines Tages auch auf der Ebene von Atomen im physikalischen und biologischen Sinn handlungsfähig zu sein, doch das konkrete Bild des Chirurgen bleibt auf der Ebene von Mikromaschinen stehen und bezieht sich gerade nicht auf die Nanoebene.

Feynmans Vortrag ist erst seit den 1980er Jahren in steigendem Maße in technologiepolitischen und populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen als Beginn der Nanotechnologie dargestellt worden, wobei zwei Gründe dafür ausschlaggebend sein dürften: Erstens eignete er sich als Nobelpreisträger – für seine Beiträge zur Quantenelektrodynamik erhielt er 1965 mit Julian Seymour Schwinger und Shin-Ichiro Tomonaga den Nobelpreis für Physik – in hohem Maße für die Rolle als Begründer eines Denkstils und einer Präidee. Zweitens ist seine *bildhafte Darstellungsweise* besonders geeignet, die grundlegende Idee der Nanotechnologie in unterschiedlichen Kontexten zu verbreiten.

Der Nanokosmos wird sichtbar: Instrumente für die Entwicklung eines Denkstils

²⁰ Feynman (Anm. 16).

²¹ VDE: VDE-Studie zum Anwendungsfeld Neuroprothetik. Mikrosysteme in der Medizin, VDE, Frankfurt am Main 2005.

Im Allgemeinen wird der Begriff Nanotechnologie auf das Jahr 1974 datiert: Der japanische Wissenschaftler Norio Taniguchi nutzte ihn, um Produktionstechnologien zu charakterisieren, die im Nanometer-Bereich angesiedelt sind. Zwar bezog er sich nicht auf Feynman, doch beschrieb er mit dem Begriff der Nanotechnologie die Idee der Fertigung auf atomarer bzw. molekularer Ebene:

„In the ‚Nano-technology‘ in materials processing, the processing by one atom or one molecule should be fully utilized“.²²

Doch erst in den achtziger Jahren gerät die Welt der Atome und Moleküle in den Blick einer breiteren Forscher-Öffentlichkeit. 1986 erhielten drei Wissenschaftler den Physik-Nobelpreis für die Entwicklung von Technologien zur Sichtbarmachung des Mikro- und Nanokosmos: Ernst Ruska (1906-1988) für die die Entwicklung des Elektronenmikroskops in den späten dreißiger Jahren, sowie Gerd Binnig und Heinrich Rohrer für das seinerzeit ganz neue Rastertunnelmikroskop. Und 1989 gelang es im IBM Forschungszentrum Almaden in Kalifornien, Atome direkt zu positionieren. Aus 35 Xenon-Atomen ‚schrieben‘ die Wissenschaftler symbolträchtig den Namen IBM auf eine Oberfläche. Dieses Bild, das 1990 in der britischen Wissenschaftszeitschrift *Nature*²³ erscheint, repräsentiert fortan einen ‚Meilenstein‘ in der Wissenschafts- und Technikgeschichte der Nanotechnologie.²⁴

Diese Instrumente repräsentieren auch einen entwickelten Denkstil und eine spezifische Form des Gestaltsehens auf dem Feld der Nanotechnologie. Da sie dem zuvor unsichtbaren Nanokosmos eine anschauliche Gestalt geben, bieten sie zugleich die Grundlage für eine Verbreitung des molekularen Forschungsansatzes in weitere Disziplinen und Forschungsfelder. Mit den neuen Instrumenten ist der Nanokosmos der Atome und Moleküle ‚sichtbar‘ und damit der menschlichen Wahrnehmung zugänglich. Außerdem zeigt das Rasterkraftmikroskop, dass über die Sichtbarkeit hinaus auch eine Handlungsfähigkeit im Nanokosmos möglich ist, indem sich auf der atomaren Ebene Manipulationen ausführen

²² Norio Taniguchi: On the Basic Concept of 'Nano-Technology'. In: Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering (1974), S. 18-23; hier S. 22. Allerdings setzt sich der Begriff erst viel später durch. Bis 1990 verzeichnen die beiden Literaturdatenbanken *Medline* und *Science Citation Index* zwischen 1 und 3 Artikel pro Jahr, die sich mit Nanotechnologie befassen. Im Jahr 2003 verzeichnet Medline bereits 1870 Artikel.

²³ D.M. Eigler und E.K. Schweizer: Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. In: *Nature* 344 (1990), S. 524-526.

²⁴ Obwohl das Bild suggeriert, dass es sich um eine von Unternehmen vorangetriebene Technologie handelt, steht die Entwicklung und Nutzung des Rastertunnelmikroskops primär in einer akademischen Tradition. Siehe kritisch zur Kritik an der traditionellen Mikroskopiegeschichte der Nanotechnologie: Davis Baird und Ashley Shew: Probing the History of Scanning Tunneling Microscopy. In: Davis Baird et al.: *Discovering the Nanoscale* Amsterdam IOS Press 2004, S. 145-156.

lassen.²⁵ Dieses ‚Sehen‘ unterscheidet sich von der Beobachtung und Wahrnehmung, wie sie Fleck beschreibt,²⁶ bzw. haben sich mit den softwaregenierten, technischen Bildern die Wahrnehmungsbedingungen verändert. Fleck stellt dar, wie es in der Medizin und in den biologischen Wissenschaften bei der Wahrnehmung und Interpretation von Mikroskoppräparaten darauf ankommt, durch Erfahrung die „Wahrnehmung spezifischer Gestalten“²⁷ zu schulen. Außerdem stellte er als Ergebnis seiner Analyse der wissenschaftlichen Beobachtung und der Wahrnehmung ganz allgemein fest:

„‚Sehen‘ heißt: im entsprechenden Moment das Bild nachzubilden, das die Denkgemeinschaften geschaffen hat, der man angehört.“²⁸

In der heutigen Forschung ist das ‚Sehen‘ technisch präfiguriert:²⁹ Schon mit der Elektronenmikroskopie, die seit den vierziger Jahren des 20. Jahrhunderts Verbreitung findet, wird nicht mehr das Objekt betrachtet, sondern das technisch durch aufwändige Verfahren generierte Bild.³⁰ Ein technisch erzeugtes Bild, das medizinische oder experimentelle Daten visuell ausgibt,³¹ ist eine soziotechnische Konstruktion, die erst in einem mikropolitischen

²⁵ Allerdings lassen sich nur bestimmte Atome unter hochspezifischen Bedingungen verschieben: Don Eigler: *From the bottom up. Building things with Atoms*. In: Gregory Timp: *Nanotechnology*. New York; Berlin; Heidelberg, Springer: 425-435.

²⁶ Fleck (Anm. 4); hier S. 59-83.

²⁷ Ebd.; hier S. 60.

²⁸ Ebd.; hier S. 59.

²⁹ Insbesondere in der Hirnforschung wird dieses Phänomen deutlich, wie die Beschreibung des Neuroradiologen Mark van Buchem zeigt: „For radiologists individuals brains differ as much as faces. Because of the tremendous variations between the brains of normal individuals, it is hard for radiologists to detect subtle, pathological differences. The only way to deal with that is through a process of normalisation. This processing of the image is performed by the computer. We sort of push back the image of the brain in a fixed mould so that each part of the brain is placed in the same position. That increases enormously the similarities between normal brains. This type of normalisation is very useful in research. If you take, for example, the brain images of a hundred normal people and if you normalise all of them, you get something like an ‘average normal brain’. In such an averaged brain, every pixel contains information regarding the structure of those hundred brains. That allows you to compare brains from populations of normal people with people who are affected by a disorder, say schizophrenia. Comparing the normalised brains of both groups allows you to infer on a statistical basis how the brains of schizophrenic people differ from normal brains. If you look at all the individual brains, you will never discover that there is any difference at all.“ Beitrag in: King Baudouin Foundation und Rathenau Institute: *Connecting Brains and Society. The present and future of brain science*. Amsterdam: King Baudouin Foundation and the Rathenau Institute 2004; hier S. 54.

³⁰ Olaf Breidbach: *Zur elektronenmikroskopischen Photographie in den Biowissenschaften*. In: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 28 (2005): 160-171; hier S. 162.

³¹ Die durch Erfahrung gewonnene individuelle Sehfähigkeit, die Fleck analysiert, besteht aus impliziten Wissen – tacit knowing, wie es Michael Polanyi genannt hat. (Michael Polanyi: *Implizites Wissen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp 1985.). Dieses intuitive, implizite Wissen wird, wenn es in einen Apparat umgesetzt werden soll, in seine Einzelteile zerlegt; die Faktoren, die zur Erkennung von einer ‚spezifischen Gestalt‘ führen, werden gewichtet, und erst mit einem adäquaten Modell, was eine spezifische Gestalt (sei es eine Diphtheriekultur, ein Gesicht, eine krankhafte Veränderung des Gehirns) ausmacht, kann eine angemessene Algorithmisierung – eine softwaretechnische Modulierung – stattfinden. Dann kann die Fähigkeit, eine spezifische Gestalt zu erkennen, einer digitalen Maschine überantwortet werden. In dieser Weise wird das System der Wissensaufbewahrung vereinheitlicht, formiert und in den digitalen Modus transformiert.

Aushandlungsprozess eine eindeutige Bedeutung erhält.³² Die „Augen des Kollektivs“, die erst das Gestaltsehen im Nanokosmos ermöglichen, sind heute bereits in Apparatetechnik umgesetzt, die aus den Abtastdaten des Rastertunnelmikroskops ein Bild erzeugt.

„Einen Apparat zu verwenden, ist immer Ausdruck eines gewissen, bereits entwickelten Stils des Denkens“

schreibt Fleck.³³ So verhält es sich auch mit der Sichtbarkeit im Nanokosmos:

„Angesichts der Untersuchungsergebnisse mit dem RKM könnte man naiver weise annehmen, nun werden auch die letzten Skeptiker überzeugt, dass die Materie atomar aufgebaut ist. Dem ist aber nicht so. Selbst wenn das Rasterkraftmikroskop scheinbar Bilder von Atomen zeigt, liefert es keineswegs einen Beweis für dessen Existenz. Es setzt diese vielmehr voraus.“³⁴

Die molekulare Ebene scheint mit den Instrumenten, die nicht nur Bilder des Nanokosmos liefern, sondern es ermöglichen, einzelne Atome zu positionieren, zu einer zukünftigen Handlungsebene zu verschmelzen. Der Nanokosmos scheint damit dem menschlichen – und damit dem sozialen und politischen – Handeln nicht mehr entzogen. So zumindest wird die Geschichte der Bild- und Bearbeitungstechnologien in der ‚Standardgeschichte der Nanotechnologie‘ von den Protagonisten und im Kontext nationalstaatlicher Förderprogramme erzählt.³⁵ In der Praxis ist die Rastermikroskopie nach wie vor ein sperriges Gebiet, das durch geringe Standardisierung gekennzeichnet ist und entsprechend umfassende Erfahrung in der jeweiligen Handhabung erfordert.³⁶ Doch die Rastermikroskopie (respektive das Rasterkraftmikroskop) gilt im Diskurs der Nanotechnologie als ein starkes Indiz dafür, dass Feynmans Bild von der zielgerichteten Anordnung von Atomen („arrange the atoms the way we want“³⁷) sich auf dem Weg von einer vagen Vision zu einem realisierbaren Leitbild befindet.

³² Die Praktiken, mit der Apparatetechnik und mit Software Bilder zu vereindeutigen ist dabei stetigen Wandlungen und mikropolitischen Verhandlungen unterworfen: Regula Burri: *Doing Images: Zur soziotechnischen Fabrikation visueller Erkenntnis in der Medizin*. In: Bettina Heintz und Jörg Huber: *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten* Wien; New York Springer 2001, S. 277-303.

³³ Fleck (Anm. 4); hier S. 164.

³⁴ Marc Denis Weitze: *Das Rasterkraftmikroskop*. Berlin; München; Diepholz: GNT 2003; hier S. 47.

³⁵ Siehe z.B. National Science and Technology Council: *Nanotechnology* (Anm. 17); hier S. 6.; TAB, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag: *Abschlußbericht „Stand und Perspektiven der Nanotechnologie“*. Drucksache 15/2713. Berlin: Deutscher Bundestag – 15. Wahlperiode 2004; hier S. 30.

³⁶ Baird u. Shew (Anm. 24).

³⁷ Feynman (Anm. 16).

Nano-assembler als Konkretisierung des Handelns auf atomarer Ebene: Gestaltsehen in der Zukunft

Bereits 1986 – also noch bevor die Manipulation einzelner Atome demonstriert wurde – erscheint ein Werk, das die Idee der Manipulation auf atomarer Ebene radikalisierte und bildlich konkretisierte. Eric Drexler entwickelt in seinem Buch „Engines of Creations“³⁸ das Leitbild, atomare und molekulare Strukturen mittels Nanomaschinen (Assemblern) herzustellen. Grob vereinfacht gesagt ist der Kern seiner Konkretisierung folgender: Molekül für Molekül werden Objekte mittels einer Sequenz präzise gesteuerter chemischer Reaktionen aufgebaut. Für diesen Prozess müssten so genannte „Assembler“ eingesetzt werden, die die wunschgemäße molekulare Struktur anhand einer Befehlssequenz aufbauen und dabei eine Kontrolle über die dreidimensionale Positionierung und genaue Orientierung der molekularen Komponenten ermöglichen. Die Assembler müssten in der Lage sein, Kopien ihrer selbst herzustellen, sich also selbst zu replizieren, um das Problem der ‚massenhaften‘ Produktion von Nanotechnologie zu lösen.³⁹ Die Assembler hätten winzige Roboterarme, mit denen sie einzelne Atome oder Moleküle handhaben, und zur Steuerung würden sie Signale von außen empfangen können. Solche Assembler sind mit unterschiedlicher Komplexität denkbar, entweder für genau definierte Aufgaben oder aber hochflexible Assembler, die aus unterschiedlichsten Atomen beliebige Objekte herstellen können. Die zweite Variante sind so genannte „universelle Assembler“. In dieser Vision einer molekularen Nanotechnologie kommen zwei Bilder zusammen, die sonst eher als Gegensatz begriffen werden: Die mechanisch geprägten Bilder des Roboters und der Maschine werden mit dem Bild des biologischen Zellwachstums (siehe folgende Abschnitte) gekoppelt.

Denkstil verbindet Technik und Medizin: Nanomedizin zwischen mechanischen und biomedizinischen Leitideen

Die Ambivalenz zwischen mechanischen Bildern des Körpers (der Körper als Maschine) und einer biomedizinischen Vorstellung bestimmt auch die Bildwelt von einer zukünftigen Nanomedizin. Drexler entwirft etwa das Bild des Körpers als eines komplexen Systems

³⁸ Eric K. Drexler: Engines of Creation. New York: Anchor Press 1987.

³⁹ Diese Idee der Nano-Assembler ist gewissermaßen die Kreuzung oder zweifache Konkretisierung zweier Präideen – der schon erwähnten von Feynman und der von John von Neumann. Denn John von Neumanns Arbeiten über Selbstreproduktion liegen gleichermaßen der Konkretisierung zugrunde. Siehe: Otavio Bueno: Von Neumann, Self-Reproduction and the Constitution of Nanophenomena. In: Davis Baird et al.: Discovering the Nanoscale Amsterdam IOS Press 2004, S. 101-115.

molekularer Maschinen.⁴⁰ Wenn „wir uns aus molekularer Perspektive ein Bild des Körpers machen“, so Drexler, dann lässt sich der Körper „als Werkhof, als Baustelle und als Schlachtfeld molekularer Maschinen sehen“: Sämtliche Körperfunktionen werden durch molekulare Maschinen verrichtet („Werkhof“); im Gehirn setzen sie „molekulare Pumpen“ in Gang, die die Nervenzellen aufladen und sie in Aktion treten lassen; in der Leber sind es ebenfalls molekulare Maschinen „die einen ganzen Schwarm an Molekülen aufbauen und zerlegen“. Wachstum, Heilung und Gewebserneuerung zeigen den „Körper als Baustelle“. Die „Baustoffe aus dem Blutkreislauf“ werden von der molekularen Maschinerie, „programmiert durch die Gene der Zelle“, zum Aufbau neuer biologischer Strukturen genutzt. Zum molekularen „Schlachtfeld“ (die Funktionen der körpereigenen Immunabwehr) wird der Körper in Drexlers Bildsprache durch „Angriffe von außerhalb des Körpers“. Der Körper wehrt sich durch die „Verteidigungsmechanismen des Immunsystems“ – „eine Armada aus eigenen molekularen Maschinen“⁴¹. Das Bild des Körpers als eines Systems aus molekularen Maschinen wird von Drexler mit den Methoden der traditionellen Medizin konfrontiert und so erscheinen chirurgische und medikamentöse Behandlungsmethoden als inadäquat, da sie nicht auf die molekulare Maschinerie abgestimmt sind.⁴²

Entgegen einer Chirurgie, die Gewebeverletzungen hinterlässt oder einer medikamentösen Behandlung, die aufgrund ihrer mangelnden Selektivität auf viele der notwendigen molekularen Nanomaschinen des Körpers zerstörerisch wirken würde, sollen die medizinischen Nanomaschinen der Zukunft hoch selektiv wirken. Während Feynman dabei noch das aus Mechanik und traditioneller Chirurgie entlehnte Bild von dem mechanischen Chirurgen mit kleinen Messern nutzte, entwirft Drexler das Bild einer „Nanomaschine“, die auf der Zellebene agiert. Die medizinischen Nanomaschinen enthalten „Nanocomputer“ und sind durch ihre Informationsverarbeitung sowie durch ihre Sensorik in der Lage „auf die gleichen molekularen Signale zu reagieren wie das Immunsystem“, sollen jedoch die Leistung des körpereigenen Immunsystems übertreffen. Denn diese „Immunmaschinen“ ließen sich so programmieren, dass sie auf alle in der Medizin bekannten Indikatoren reagieren⁴³ und würden Bakterien, Einzeller, aber sogar Krebszellen identifizieren und selektiv vernichten können, ohne andere Zellen in Mitleidenschaft zu ziehen.

Drexler entwickelt aber noch ein weiteres nanomedizinisches Bild, bei dem auf einen Einklang von Mensch und Natur rekuriert wird. Es ist die *Gestalt* des Hirten, in diesem Fall

⁴⁰ Eric K. Drexler: Engines of Creation. New York: Anchor Press 1987; hier S. 100-108.

⁴¹ Eric K. Drexler et al.: Experiment Zukunft. Die nanotechnologische Revolution. Bonn; Paris; Reading: Addison-Wesley 1991; hier S. 213.

⁴² Ebd.; hier S. 214-216.

die Gestalt von „Zellhirten“, bei dem es nicht um den Kampf gegen Eindringlinge geht, sondern um die Unterstützung von Heilungsprozessen. Heilung im Sinne der Herstellung gesunden Gewebes wird als ein komplexer Prozess verstanden, denn hier müssen „Bewegungen und Verhalten ganzer Scharen von aktiven, lebenden Zellen“ gesteuert werden, „ein Vorgang, den man als Zellenhüten bezeichnen kann“.⁴⁴ Diese Zellhirten würden chemische und mechanische Signale nutzen, um Zellteilungen anzuregen oder zu verhindern. So könnten „miteinander kooperierende Teams von Zellhirten die Heilung oder den Wiederaufbau von Gewebe steuern“ und dafür sorgen, dass „ihre Zellen sich zu gesunden Mustern zusammenfügen und eine gesunde Matrix ausbilden“.⁴⁵

Bei aller Ambivalenz zwischen mechanischen und biologischen Leitbildern, zwischen Kampfmetaphern und Hirtenidylle steht insgesamt das Bild der ‚Zelle‘ im Zentrum der ansonsten widersprüchlichen Bildwelt. Die Zelle ist *Vorbild* und *Leitbild* für eine mögliche Produktion auf der Nanoebene der Atome und Moleküle. Im Denkstil der Nanomedizin wird die Funktionsweise biologischer Produktion mit dem Prinzip der technischen Produktion auf der Mikro- und Nanoebene verbunden.

Visionäre Zukunftsbilder: Förderung von Innovation oder Verhinderung?

Drexlers Vorstellungen von molekularen Maschinen und medizinischen Nanorobotern sind jedoch auch weiterhin ausgesprochen umstritten: Dass es einmal Nano-Assembler oder medizinische Nanoroboter geben wird, ist ein Denkgebilde, eine wissenschaftliche Idee, die zunächst erst einmal fundierend für *ein* Denkkollektiv wurde. Dieses Denkkollektiv hat einen konkreten historischen Ort, das *Foresight Institut*, das von Drexler gegründet wurde und es umfasst einen kleinen esoterischen Kreis derer, die an diesem Ansatz arbeiten und davon überzeugt sind, dass später die technologische Möglichkeit einer Entwicklung solcher Assembler besteht.

Visionäre Bilder einer molekularen Nanotechnologie, die implizit mit Versprechungen hinsichtlich ihrer absehbaren Realisierung verbunden sind, werden dahingehend kritisiert, dass sie dem Forschungsgebiet langfristig schaden, wenn sie keine Demonstratoren aufweisen

⁴³ Ebd.; hier S. 219.

⁴⁴ Ebd.; hier S. 222.

⁴⁵ Ebd.; hier S. 223.

können.⁴⁶ Drexlers Zukunftsvisionen werden zudem in die Nähe von *Science Fiction* gerückt (beispielsweise in der deutschen Forschungspolitik⁴⁷) und erscheinen *prinzipiell* unrealisierbar. Auch der amerikanische Nano-Pionier und Chemiker Richard Smalley (1943-2005), der 1996 zusammen mit Sir Harold W. Kroto und Robert F. Curl den Chemie-Nobelpreis für die Entdeckung der ‚Fullerene‘ bekam, hält die Möglichkeit sich selbst replizierender Nanoroboter prinzipiell für unmöglich. Seiner Ansicht nach kann es keine solchen Nano-Assembler geben, da sie bestimmten physikalischen Gesetzmäßigkeiten auf der molekularen Ebene widersprechen. Interessant ist, dass er diese Kritik ebenfalls mit einer bildhaften Analogie deutlich macht: Die Greifarme eines solchen Roboters wären zu dick und zu klebrig, da sie selbst aus Atomen bestehen und diese könnten das Umfeld einer chemischen Reaktion daher nicht kontrollieren.⁴⁸

Es gilt also als ungewiss, ob es jemals komplexe Nanoroboter geben wird. Mit dem rasanten Tempo heutiger Wissenschaft- und Technikentwicklung wird aber kaum jemand eine visionäre Vorstellung, die so viele Möglichkeiten bietet wie die molekulare Nanotechnologie, mit Bestimmtheit für unmöglich halten (wollen). Vielleicht werden auch andere Mittel als Nano-Assembler gefunden, die eine kontrollierte Selbstreplikation ermöglichen, dabei aber nicht den von Drexler beschriebenen Funktionsmechanismen folgen, die sich gerade im Kontext des Denkstils entwickeln, der auf die weitere Entwicklung molekularer Maschinen setzt. Zumindest bleiben die Bildwelten der visionären Nanotechnologie auch weiterhin hochwirksam, da die Bilder, die Drexler beschreibt, in forschungspolitischen Kontexten immer wieder in unterschiedlicher Weise auftauchen.

Um einen konkreten *ursächlichen* Zusammenhang zwischen einzelnen visionären nanomedizinischen Bildern und aktueller Forschung bzw. Forschungspolitik festzustellen, wäre es notwendig, die Entwicklung einzelner medizinischer Anwendungen und Technologien zu untersuchen, um herauszufinden, von welchen konkreten Leitbildern sich die unterschiedlichen Akteure tatsächlich leiten ließen und wie umfassend sich ihr Denkstil *en detail* überschneidet. Doch auf einer phänomenologischen Ebene lassen sich zumindest in der aktuellen Forschungspolitik Bilder und Leitbilder identifizieren, die dem Denkstil der molekularen Nanomedizin entsprechen, wenn auch in deutlich modifizierter Form. So werden im Strategischen Plan der US-amerikanischen *National Nanotechnology Initiative* die neuen

⁴⁶ Bachmann (Anm.17) Gerd Bachmann: Analyse und Bewertung zukünftiger Technologien. Innovationsschub aus dem Nanokosmos. Düsseldorf: VDI Technologiezentrum 1998; hier S. 33.

⁴⁷ Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF: Nanotechnologie. Innovationen für die Welt von morgen. Bonn: BMBF 2005; hier S. 41 f; Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF: NanoTruck. Reise in den Nanokosmos. Die Welt kleinster Dimensionen. Bonn 2004; hier S. 39 f.

⁴⁸ Richard E. Smalley: Of Chemistry, Love and Nanobots. In: Scientific American 285 (2001), S. 76-77.

Methoden der Krebsbekämpfung beschrieben, in denen es darum geht, gezielt und ausschließlich Tumorgewebe zu treffen.⁴⁹ Speziell beschichtete metallische Nanopartikel werden ausschließlich von Tumorzellen aufgenommen, durch verschiedene Methoden erwärmt und führen so zur Zerstörung von Tumorzellen, ohne anderes Gewebe zu zerstören. In der deutschen Forschungsförderung wird der Ansatz der Nanomedizin auf molekularer Ebene ebenfalls aufgegriffen: Mit „maßgeschneiderten nanoskaligen Trägersystemen“ sollen Wirkstoffe im Körper in der richtigen Form an den richtigen Ort gebracht werden.

„Um mit nanoskaligen Drug-Delivery-Systemen Wirkstoffe gezielt zum kranken Gewebe zu transportieren, werden sie mit Wirkstoffen und zugleich mit Antikörpern ausgestattet. Die Antikörper bewirken eine spezifische Anreicherung der Nanopartikel im kranken Gewebe, so dass der Wirkstoff dann lokal seine Wirkung entfalten kann.“⁵⁰

Hier sind zwar keine ‚intelligenten‘ Nanomaschinen anvisiert, jedoch entspricht dieser Ansatz dem Denkstil und der Bilderwelt nanomedizinischer Ansätze, in denen auf molekularer Ebene reagiert wird.

Zentrales Bild des neuen Denkstils: Die Zelle als Nanofabrik

Schon Richard Feynman hatte in seinem Vortrag von 1959 die ‚Zelle‘ als Vorbild genannt, um Information auf kleinstem Raum unterzubringen. Die Tatsache, dass gewaltige Informationsmengen auf äußerst geringem Raum gespeichert werden können, sei Biologen natürlich längst bekannt, denn nur so ließe sich verstehen, dass in winzigen Zellen die gesamte Information für den Aufbau eines so komplexen Wesens wie des Menschen gespeichert werden könne. Biologische Zellen beschreibt Feynman als kleine komplexe Maschinen, die Vorbild für die technologische Miniaturisierung sein könnten. In seinem Vortrag verknüpfte Feynman außerdem bereits das Bild der strukturierten Anordnung von Atomen mit dem Bild von der Zelle als Informationsspeicher und Arbeitseinheit. Die Zelle

⁴⁹ National Science and Technology Council: National Nanotechnology Initiative. Strategic Plan. Washington 2004; hier S. 3; für einen Überblick über Nanopartikel in der Therapie siehe: Volker Wagner und Dietmar Wechsler: Nanobiotechnologie II. Anwendungen in der Medizin und Pharmazie. Düsseldorf 2004; hier S. 7-40.

⁵⁰ Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF: Nanotechnologie. Innovationen für die Welt von morgen. Bonn: BMBF 2005; hier S. 32; VDI Technologiezentrum: Leitinnovation NanoForLife. Nanotechnologien für Life Sciences und Gesundheit. Düsseldorf 2004.

wird zum Vorbild, Informationen nicht nur zu speichern, sondern auch zu verarbeiten und für die Produktion komplexer Stoffe zu nutzen:

„Many of the cells are very tiny, but they are very active; they manufacture various substances; they walk around; they wiggle; and they do all kinds of marvelous things – all on a very small scale. Also, they store information. Consider the possibility that we too can make a thing very small which does what we want – that we can manufacture an object that maneuvers at that level!“⁵¹

Hier wird somit bereits ein Leitbild angedeutet, das sich aus der heutigen Bildwelt als Präidee aktueller Bilder lesen lässt und in der aktuellen Nanotechnologie und Nanomedizin eine entscheidende Rolle spielt: Das Bild der Zelle als zugleich winzige, effiziente und komplexe Maschine, die auf der Nanoebene agiert. Dieses Bild der Zelle als einer Fabrik auf Nanoebene taucht sowohl als Leitbild der „Bottom-up“-Nanotechnologie wie auch als Leitbild für die Nanomedizin der Zukunft auf. In der Zelle ist die gesamte genetische Information enthalten, um sich selbst zu kopieren; aus Zellen entstehen komplexe und ausdifferenzierte Wesen wie Menschen. Die Zelle kann Rohstoffe verarbeiten, um zu wachsen; sie ist in der Lage, Energie zu gewinnen, kann sich reproduzieren und fortbewegen. Im engen Zusammenhang mit der Zelle als Nanofabrik steht darüber hinaus das Bild selbst organisierender Strukturen. Selbstorganisation (*self assembly*) repräsentiert die Vorstellung, dass sich Komponenten spontan in einer spezifischen Weise anordnen, wenn sie entsprechende strukturelle Eigenschaften haben (bzw. aufgrund spezifischer chemischer Eigenschaften). Als strukturbildender Mechanismus der biomolekularen Nanotechnologie würde sich diese Methode zur atomgenauen Herstellung von Materialien und Gegenständen aller Art anbieten.⁵² In diesem Kontext steht zudem das Bild von „Zellen als Fabriken für Pharmazeutika“.⁵³ Spontane Ordnungsprozesse sind in der Natur allgegenwärtig und bringen komplexe Gebilde wie eine lebende Zelle allein aus „Anweisungen“ hervor, die implizit im Ausgangsmaterial enthalten sind. Zudem steuern Selbstorganisationsprozesse das Wachstum von Organismen und bilden die Grundlage für das Regenerationsvermögen biologischer Systeme.⁵⁴ Die Vorstellung von der Zelle als einer Fabrik und von der DNA-Selbstorganisation als einem Konstruktionsprinzip findet sich vielfältig in den Ansätzen einer

⁵¹ Feynman (Anm. 16)

⁵² Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF: NanoTruck. Reise in den Nanokosmos. Die Welt kleinster Dimensionen. Bonn 2004; hier S. 29; Swiss Reinsurance Company Swiss Re: Nanotechnologie. Kleine Teile – große Zukunft. Zürich 2004; hier S. 9.

⁵³ Gerd Bachmann: Analyse und Bewertung zukünftiger Technologien. Innovationsschub aus dem Nanokosmos. Düsseldorf: VDI Technologiezentrum 1998; hier S. 1.

Technologiefrüherkennung,⁵⁵ aber auch in der Herausbildung der Nanobiotechnologie selbst⁵⁶. Zudem ermöglicht die bildliche Verknüpfung von ‚Fabrik‘ und ‚Zelle‘ ein hohes Maß an doppelseitiger Anschlussfähigkeit: Dieses *Bild* ist sowohl anschlussfähig an technische wie auch an lebenswissenschaftliche Konzepte (als *Life Sciences*).

„Das Verständnis biologischer Prozesse wurde in jüngster Zeit auf zellulärer wie molekularer Ebene entscheidend ausgebaut. Hierzu gehören eine Vielzahl von Abläufen, wie z.B. der Informationsfluss vom Gen zum Protein, die Selbstorganisation von Molekülen oder die Photosynthese, von technologisch unerreichter Funktionalität und Komplexität. Zukünftig gilt es, die zugrunde liegenden biologischen Prinzipien verstärkt auf technische Systeme zu übertragen. Gleichzeitig stellt die Biotechnologie einen immer umfangreicheren Werkzeugkasten von Verfahren zum Design maßgeschneiderter, funktionaler Moleküle zur Verfügung, die den zukünftigen Einsatz biologisch-technischer Hybridsysteme beispielsweise für Implantate, Neurochips oder eine künstliche Retina in greifbare Nähe rücken lassen.“⁵⁷

Außerdem bietet sich das Bild der Zellfabrik Leitbild für die Konvergenz von Technologien an. Die Konvergenz von Nanotechnologie, Biotechnologie, Informationstechnologien und Kognitionswissenschaft (NBIC) wird sowohl in den USA als auch in Europa als zentraler Ansatz für die Beschleunigung und Ausweitung von Innovationsprozessen – und damit als Voraussetzung für die angestrebte ‚Wettbewerbsfähigkeit‘ der jeweiligen Ökonomien – gesehen.⁵⁸ Um die Konvergenz zu forcieren (und das ist das politische Ziel) sind Bilder, Modelle und Visionen notwendig, die einen visuellen Brückenschlag zwischen den unterschiedlichen Disziplinen und Denkstilen ermöglichen. Im Rahmen des kybernetischen Denkstils wurde bereits in den 1940er Jahren die Analogie zwischen Lebewesen und Maschine durch das besondere Bild hergestellt, dass es sich nämlich sowohl bei Lebewesen als auch bei Maschinen um informationsverarbeitende Systeme handele.⁵⁹ Doch erst mit dem Bild der *Zelle als Fabrik* kommen die aktive

⁵⁴ Heinz Eickenbusch et al.: Technologiefrüherkennung. Monitoring-Bericht. Ansätze zur technischen Nutzung der Selbstorganisation. Düsseldorf: VDI Technologiezentrum GmbH 2003; hier S. 5.

⁵⁵ Ebd.

⁵⁶ Volker Wagner und Dietmar Wechsler: Nanobiotechnologie II. Anwendungen in der Medizin und Pharmazie. Düsseldorf 2004.

⁵⁷ Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF: Nanotechnologie erobert Märkte. Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie. Bonn 2004; hier S. 6.

⁵⁸ High Level Expert Group Foresighting the New Technology Wave HLEG: Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies. 2004; Mihail C. Roco und William Sims Bainbridge, eds., *Converging Technologies for Improving Human Performance. Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science* (2002); Mihail C. Roco und Carlo. D. Montemagno, eds., *Co-evolution of Human Potential and Converging Technologies*, vol. 1013, Annals of the New York Academy of Sciences (New York, 2004).

⁵⁹ Norbert Wiener: Kybernetik oder Regelung und Nachrichtenübermittlung in Lebewesen und Maschine. Elsevier; Amsterdam; London; New York: Econ 1963.

Komponente der Produktion von neuem und die Vorstellung der *Produktion durch Selbstorganisation und Selbstreplikation* hinzu.

Nanotechnologische Selbstreplikation: Gutes ‚natürliches‘ Wachstum versus ‚entartetes‘ Krebswachstum

Radikale Zukunftsvisionen, die ein Bild einer perfekten Zukunft entwerfen, verweisen implizit auch auf ihre dunkle Seite, denn Selbstorganisations- und Selbstreplikationsprozesse könnten sich verselbständigen und außer Kontrolle geraten. In der visuellen Geschichte der Nanotechnologie ist dieses Bild des Schreckens nicht nachträglich oder von selbsternannten Gegnern entworfen worden, sondern wurde bereits in den frühen Zukunftsbildern von Drexler selbst reflektiert. Bei ihm handelte es sich um ein Gedankenexperiment, das in ein plastisch anmutendes Bild eingemündet ist: Wenn universelle Assembler möglich wären, so könnten sie – analog zum Zellwachstum in der Natur – in der Natur vorkommende Rohstoffe für ihre Selbstreplikation nutzen, sich unkontrolliert vermehren und schließlich die Welt mit einer grauen Schmiere (*grey goo*) überziehen.⁶⁰ Eine breite Aufmerksamkeit bekommt dieses Bild im Jahr 2000, als sich der US-amerikanische Computer-Experte und Chief Scientist von Sun Microsystems, Bill Joy, in einem aufsehenerregenden Zeitungsartikel drastisch zu den Gefahren von Gentechnik, Nanotechnologie und Robotik äußert. Der im Magazin „Wired“ erschienene (und in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung übersetzte) Artikel warnt:

„Vor allem Roboter, technisch erzeugte Lebewesen, und Nanoboter besitzen eine gefährliche Eigenschaft: Sie können sich selbständig vermehren. Eine Bombe explodiert nur einmal, aus einem einzigen Roboter können viele werden, die rasch außer Kontrolle geraten. ... Der Preis des faustischen Handels, der uns die Nanotechnologie beschert, ist ein schreckliches Risiko, die Gefahr nämlich, dass wir die Biosphäre zerstören, von der alles eben abhängt.“⁶¹

Dieses Szenario verbindet wiederum zwei traditionell von einander getrennte Bilder des Schreckens: Das Bild zerstörerischer Roboter⁶² wird mit dem ebenfalls bedrohlichen Bild der

⁶⁰ Eric K. Drexler: *Engines of Creation*. New York: Anchor Press 1987; hier S. 172f; ETC Group: *Green Goo: Nanobiotechnology Comes Alive!* Winnipeg 2003; hier S. 10; Mihail C. Roco und William Sims Bainbridge: *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Arlington, Virginia: National Science Foundation (NSF) 2001.

⁶¹ Bill Joy: *Warum die Zukunft uns nicht braucht. Die mächtigsten Technologien des 21. Jahrhunderts - Robotik, Gentechnik und Nanotechnologie - machen den Menschen zur gefährdeten Art*. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 6. Juni 2000, S. 49-51.

⁶² Der Begriff des Roboters ist bereits als Schreckensbild von seinem Begriffsschöpfer, dem tschechischen Schriftsteller und Dramatiker Karel Capek (1890-1938) entworfen worden. In seinem 1921 uraufgeführten

‚Bevölkerungsexplosion‘ verbunden. Der Bestseller-Autor Michael Crichton hat in seinem Roman ‚Beute‘⁶³ dieses Bild der sich unkontrolliert vermehrenden Nano-Assembler zu einem global bedrohlichen Szenario ausgebaut: Um das Überleben einer Firma zu sichern, werden entgegen allen Sicherheitsüberlegungen gefährliche Versuche gemacht, bei denen Nanoroboter entwickelt werden, die in natürlicher Umgebung überleben können, indem sie benötigte Rohstoffe und Energie aus allgegenwärtigen organischen Stoffen und der Sonne ziehen können. Schwärme dieser Nano-Partikel entweichen aus dem Labor, schließen sich zu halbtelligenten Entitäten zusammen und nisten sich sogar in Menschen ein. Dank des überlegenen Wissens und des unglaublichen Mutes des Helden – eines Programmierers namens Jack, der auf das Gebiet verteilter künstlicher Intelligenz spezialisiert ist, kann der Untergang der Welt hier noch einmal abgewendet werden.

Obwohl das von Crichton entworfene Bild der intelligenten Nano-Schwärme technisch abwegig ist,⁶⁴ wird ihm von nicht wenigen Richtungen eine hohe potentielle Wirkungsmächtigkeit zugeschrieben, wenn der Stoff in Hollywood verfilmt werden sollte. Die Sorge besteht darin, dass die Nanotechnologie ein negatives Image bekommen könnte und Innovationsprozesse durch eine negative Öffentlichkeit in der Öffentlichkeit verlangsamt werden könnten.⁶⁵ Hier zeigt sich die Ambivalenz der steigenden Bedeutung von Bildern auch in der politischen Kommunikation. Bilder von positiven zukünftigen Nanowelten sind im Kontext von Forschungs- und Technologiepolitik unentbehrlich, da nur mit der Integration visueller Kommunikationsmittel⁶⁶ die öffentliche Aufmerksamkeit umfassend auf Zukunftstechnologien gelenkt werden kann. Positive technische Zukunftsbilder fungieren damit als Attraktoren; sie binden und akkumulieren öffentliche Aufmerksamkeit und konzentrieren Interesse auf spezifische Technologien. Erhalten aber die spiegelbildlichen negativen Szenarien ein hohes Maß an Aufmerksamkeit, so steigt bei Regierungen und Promotoren die Sorge, es könne zu Kontroversen und zu Widerstand gegen die

‚utopistischen Kollektivdrama‘ mit dem Titel ‚R.U.R.‘ bezeichnen ‚Roboter‘ auf biochemischem Wege hergestellte (dem Menschen nachgebildete) Arbeitskräfte, die von einer amerikanischen Firma namens ‚Rossum’s Universal Robots‘ produziert werden. Der Begriff ist vom tschechischen Wort ‚robota‘ abgeleitet, das auf deutsch ‚Fronarbeit‘ bedeutet.

⁶³ Michael Crichton: Beute. München: Blessing 2002.

⁶⁴ Freeman J. Dyson: The Future Needs Us! In: The New York Review of Books, Volume 50, Number 2, February 13, 2003.

⁶⁵ Christopher Coenen: Nanofuturismus: Anmerkungen zu seiner Relevanz, Analyse und Bewertung. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 13 (2004), S. 78-85; hier S. 84; Swiss Reinsurance Company Swiss Re: Nanotechnologie. Kleine Teile - große Zukunft. Zürich 2004; hier S. 46.

⁶⁶ Faktisch integriert die politische Kommunikation, die primär auf Sprache als diskursivem Medium ausgerichtet ist, zunehmend visuelle Kommunikationsmedien. Vgl. zu diesem Wandel: Wilhelm Hofmann: Bild und Macht. Von der Theorie der visuellen Kommunikation zur Theorie postmoderner Politik. In: Klaus Sachs-Hombach: Bildwissenschaft zwischen Reflexion und Anwendung Köln Herbert von Halem Verlag 2005, S. 71-85.

Nanotechnologie kommen. Dies ist der Kontext, in dem sich *Bildpolitiken* entwickeln, mit denen das Gestaltsehen der Zukunft klassifiziert, eingehegt und reguliert werden soll.

Nano-Bildwelten und ihre mikropolitische Regulierung

Mit der Anerkennung der medialen und technologischen Bedeutung von Bildern und Visionen gehen auch Bemühungen einher, die Nano-Bildwelten politisch zu regulieren. In einem kurzen *Nature*-Kommentar wird 2003 gefragt, ob Illustrationen tatsächlich das wissenschaftliche Verständnis unterstützen und ‚Daten vermitteln‘, oder ob sie nicht zu Verfälschung (*overmanipulation*) und falschen Darstellungen (*misrepresentation*) führen.⁶⁷ Die meisten der dargestellten Beispiele beziehen sich auf Darstellungen im mikro- und nanoskaligen Bereich. Beispiele für zweifelhafte Bilder seien insbesondere in der Nanotechnologie zahlreich zu finden. Sind Regeln notwendig, mit denen wissenschaftliche Publikationen Transparenz über den Status der Bilder (illustrative *eye-catcher* versus visueller Vermittlung wissenschaftlicher Daten) schaffen? Brauchen wir Regeln für ‚angemessene‘ Bilder aus dem Nanokosmos?⁶⁸ In dem *Nature*-Kommentar wird jedenfalls für eine Etablierung von Richtlinien für visuelle wissenschaftliche Darstellungen plädiert. Das Ziel dieser Richtlinien soll darin bestehen, Abbildungen ‚wirklich wissenschaftlich‘ („make the figure truly ‚scientific‘“) zu machen. Eine der Regeln müsse laut Kommentator darin bestehen, dass nicht nur einzelne Teile eines Bildes realistisch sein dürfen: Wenn der Anspruch besteht, dass etwas auf einem Bild realistisch dargestellt ist, so müsste dies auch für die anderen Teile des Bildes gelten. Das *Beispielbild*⁶⁹, das als Referenz für die Kritik dient (ein Cover der Konkurrenz-Zeitschrift *Science*), zeigt einen Nanoschaltkreis, in dem eine Kohlenstoff-Nanoröhre von goldenen Befestigungen gehalten wird. Während die im Zentrum stehende Kohlenstoffröhre mit einer atomaren Struktur abgebildet ist, sind die goldenen Befestigungen als schmale glatte Flächen (wie Gold auf der Makroebene traditionell dargestellt wird) zu sehen. Wenn aber, so der Einwand des Kommentators, die Kohlenstoffatome auf dem Bild sichtbar sind, dann müssten die viel größeren Goldatome ebenfalls sichtbar sein. Außerdem, so eine weitere Kritik, zeigt das Bild Schatten, die aber auf

⁶⁷ Julio M. Ottino: Is a picture worth 1,000 Words? Exciting new illustration technologies should be used with care. In: *Nature* 421 (2003), S. 474-476.

⁶⁸ Zeitschriften der Zell- und Molekularbiologie haben bereits spezifische Regularien, in denen festgehalten ist, welche Interventionen mit Grafikprogrammen erlaubt sind und welche verboten sind: Helen Pearson: CSI: cell biology. In: Ebd.434 (2005), S. 952-953.

⁶⁹ http://www.nature.com/nature/journal/v421/n6922/fig_tab/421474a_F5.html (doi: 10.1038/421474a) <08.03.2006>

der Nanoebene gar nicht auftreten. Ein Betrachter – so das Argument dafür, dass alles auf einem Bild ‚realistisch‘ sein müsse, wenn es eines seiner Teile ist – würde davon ausgehen, dass der Informationsgehalt eines Bildes in all seinen Teilen gleich sei.

[http://www.nature.com/nature/journal/v421/n6922/fig_tab/421474a_F5.html; Cover Science]

Doch um illustrativ zu wirken, um also die Funktion des Illustrierens überhaupt zu erfüllen, muss ein Bild, das eine Analogie beinhaltet, gerade an das vorhandene (konventionelle) Bild des Gegenstandes anschließen. So sind die vom Kommentator monierten Schatten⁷⁰ auf dem Bild gar nicht wichtig dafür, dass es hier um einen Nano-Schaltkreis geht. Sie sind aber wichtig, um beim Betrachter sofort die Vorstellung der Dreidimensionalität aufzurufen – und die Dreidimensionalität wiederum ist zentral für das Modell. So lässt sich gegen den Kommentator argumentieren: Auch wenn keine Nano-Schatten existieren, unterstützen die ‚falschen‘ Schatten die Aussageformation der Illustration und widersprechen ihr nicht.

[hier Bild: http://www.nature.com/nature/journal/v421/n6922/fig_tab/421474a_F3.html; Nano-Laus]

In einem weiteren Beispiel geht es um ein viel genutztes ästhetisierendes Bild der Nanomedizin, das im Jahre 2002 den *Vision-of-Science*-Preis in der Kategorie *Science Concept* gewann.⁷¹ Inmitten einiger perfekt geformter roter Blutkörperchen ist ein durchscheinendes, gläsern wirkendes Objekt zu sehen; eine „Nano-Laus“ mit Greifwerkzeugen, die an Hummerscheren erinnern; ausgestattet mit einer Injektionsnadel, die gerade in eines der roten Blutkörper eindringt. Licht und Schatten der gewölbten Blutkörperchen, wie auch die Ästhetik des Artefakts, die zwischen Meerestier, Insekt und einem komplizierten Labor-Kolbensystem changiert, sind perfekt komponiert. Auch hier muss der Kritik nicht unbedingt gefolgt werden, dass die rote Farbe irreführend sei, da Bilder aus dem Elektronen-Mikroskop keine Farben zeigen, denn auch hier ist die Farbinformation notwendig, um die spontane Identifizierung der fliegenden Scheiben als roten Blutkörperchen (Erythrozyten) zu erreichen. Die Kritik an eben diesem Bild geht zu Recht viel weiter: Das medizintechnische Artefakt kann nicht funktionieren, seine Konstruktion ist nur ästhetisch

⁷⁰ Ottino (Anm 66), hier S. 476.

⁷¹ Coneyl Jay: Nanotechnology. In: Vision of Science Photographic Award: <http://www.visions-of-science.co.uk/winners2002/concept-1.htm> <08.03.2006>; In dem Nature-Artikel: http://www.nature.com/nature/journal/v421/n6922/fig_tab/421474a_F3.html <08.03.2006>

und mechanisch, zeigt aber kein Modell einer Funktionsweise.⁷² Insofern handelt es sich um kein Bild, das Verständigung ermöglicht, oder gar konkrete Forschung anregen kann.

Mit der Diskussion über die Unterscheidung zwischen Bildern, die eine *Funktionsweise verdeutlichen*, die *Daten anschaulich darstellen*, oder aber rein *ästhetisierenden Charakter haben*, lässt sich perspektivisch sicherlich ein sinnvolles System voneinander unterscheidbarer Bildkategorien aufstellen und weiter entwickeln. Grenzziehungen werden umstritten sein, können aber gerade dadurch dazu beitragen, die Bedeutung einzelner Bildkategorien – Abbild, Modell, Illustration, Szenario etc. – im Prozess der Vermittlung und Darstellung von Daten, Hypothesen und Modellen darzustellen. Diese Diskussion über eine Regulierung der visuellen Repräsentation von Daten und Modellen kann es perspektivisch ermöglichen, dass einzelne Disziplinen wie auch transdisziplinäre Forschungsfelder zu einem gemeinsamen Verständnis über die Bedeutung von Bildern als einem Modus der Generierung von zukünftigem nanotechnologischen- und medizinischen Wissen kommen. Die Nano-Bildwelten zeigen zugleich, dass der Denkstil der Nanowissenschaften sich der unterschiedlichen Bildwelten bedient: Nanomedizinische und -technologische Bilder schöpfen aus dem Bildreservoir der Chemie und Physik (Atommodelle), der Ingenieurwissenschaften (Maschinenmodelle) und Biologie (Selbstreplikation, Proteinbildung). Im Zentrum der Nanotechnologie stehen die Funktionen und Eigenschaften die von den *nanoskaligen Effekten der Systemkomponenten* abhängig sind, doch gerade diese nanoskaligen Effekte⁷³ haben noch keine eingängige Bildwelt gefunden.

Do Visions have politics?

Auch die Generierung von übergreifenden Nano-Szenarien und Nano-Visionen ist politisch umstritten. Wenn positiven Nano-Bildwelten eine stimulierende Wirkung für Innovationen zugeschrieben wird, und Horrorvisionen als Bedrohung für die Entwicklung von Milliardenmärkten gesehen werden, dann liegt es nahe, Visionen politisch regulieren zu wollen. In den Bildwelten der Nanomedizin zirkulieren Wissensbestände, Denkmodelle und Zukunftsvisionen auf verschiedenen Ebenen. Die Bilder einer zukünftigen Nanomedizin auf

⁷² Ottino (Anm 66), hier S. 476.

⁷³ Was auch darin begründet liegen könnte, dass gerade im quantentheoretischen Denkstil die Abbildbarkeit atomarer Vorgänge radikal in Frage gestellt wurde: Joachim Krug: Ein Auge welches sieht, das andre welches fühlt: Bilder aus der physikalischen Nanowelt. In: Bettina Heintz und Jörg Huber: Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten Wien; New York Springer 2001, S. 121-139; hier S. 128f.

molekularer Ebenen dienen hiermit der Popularisierung und wirken zugleich wieder auf spezifische Forschungsfelder zurück. Das populäre Wissen – so Fleck –

„bildet die spezifische öffentliche Meinung und die Weltanschauung und wirkt in dieser Gestalt auf den Fachmann zurück“⁷⁴.

In welcher Weise die Bilder und Bildpolitiken auf der Mikroebene (Modelle und Bilder aus Nanowissenschaft) und auf der Makroebene (Visionen einer molekularen Medizin der Zukunft oder einer industriellen Nano-Revolution) aufeinander einwirken, ist empirisch ungeklärt. Doch die Ansätze von Bildpolitiken verweisen darauf, dass es ein steigendes Interesse gibt, Nano-Welt-Bilder zu regulieren, um sie als Instrument zur Forcierung von Zukunftstechnologien zu nutzen. Auf der Makroebene der Leitbilder, Visionen und Szenarien gibt es bereits das Konzept des *Vision Assessment* (in Analogie zum *Technology Assessment*, der Technikfolgenabschätzung).⁷⁵ Mit dem Konzept sollen mögliche, sinnvolle, nutzbringende und innovationsförderliche Visionen von unmöglichen, unvernünftigen, schädlichen und innovationshinderlichen Visionen unterschieden werden. Ob jedoch eine Vision technisch möglich oder unmöglich ist, lässt sich (für die Öffentlichkeit, Politik und Investoren) nur begrenzt beurteilen (siehe Seite 14), vor allem wenn sich disziplinäre Denkstile widersprechen. Ob eine Vision vernünftig ist oder als unvernünftig gilt, hängt vom zeitlichen und räumlichen Kontext ab: Im Rahmen eines politischen Denkstils, der darauf setzt, wirtschaftliches Wachstum und nationalstaatliche Wettbewerbsfähigkeit zu forcieren (und dies ist der hegemoniale Denkstil der Regierungspolitik in den führenden Industriestaaten, ist die Beschleunigung der technischen Entwicklung vernünftig, um möglichst umfassend Prozess- und Verfahrensinnovation zu initiieren, die auf den globalen Märkten konkurrenzfähig sind. Im Kontext eines politischen Denkstils, der die langfristige globale Entwicklung im Blick hat (der verbal verbreitet, jedoch faktisch marginalisiert ist), ist dagegen nicht alles, was technisch machbar ist und Absatzmärkte verspricht, auch eine vernünftige Innovation. Entsprechend unterschiedlich werden Konflikte (die Artikulation gegensätzlicher Interessen) sowie negative Zukunftsbilder und *Schreckensvision* eingeschätzt: In der hegemonialen Politik und im Kontext von linearer Beschleunigung technischer Entwicklung gelten sie primär als gefährlich für die umfassende und rasche Durchsetzung von

⁷⁴ Fleck (Anm. 1); hier S. 150.

⁷⁵ Christopher Coenen: Nanofuturismus: Anmerkungen zu seiner Relevanz, Analyse und Bewertung. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 13 (2004), S. 78-85; John Grin und Armin Grunwald: Vision

Innovationen. Doch Konflikte und Schreckensbilder verweisen auf Risiken und können daher als Teil eines Frühwarnsystems gegenüber problematischen Entwicklungen fungieren: Ein Warnsystem, das darauf verweist, dass es nicht ausreicht, wissenschaftliche und technische Entwicklung zu beschleunigen, sondern notwendig ist, sie gesellschaftlich zu gestalten.

Wenn sich Beurteilungsmaßstäbe durchgesetzt haben, folgt das *Vision-Management*. Dieses würde auf den Versuch einer hegemonialen Politik hinauslaufen, auf der Ebene der gesellschaftlichen Zukunft Tendenzen zur Vereinheitlichung zu fördern, in ähnlicher Weise, wie sie Fleck für die Konstituierung und Reproduktion einer wissenschaftliche Denkgemeinschaften analysiert hat:

„Sehen‘ heißt: im entsprechenden Moment das Bild nachzubilden, das die Denkgemeinschaften geschaffen hat, der man angehört.“⁷⁶

Fleck selbst hat die sozialwissenschaftlichen Analyse des wissenschaftlichen Denkens und Sehens in einem unauflösbaren Spannungsfeld gesehen. Einerseits beklagte er, dass die Soziologie des Denkens eine „junge, von den Naturwissenschaftlern unterschätzte Wissenschaft“ sei.

„Umso besser kennen und missbrauchen sie die Politiker, umso schlechter kommt die ganze Menschheit dabei weg.“⁷⁷

Dabei bietet die Soziologie des Denkens laut Fleck

„die Möglichkeit, das intellektuelle Leben der Gesellschaft rational zu lenken. Sie findet den Weg, die Masse gegen die rücksichtslose Politik abzuhärten“⁷⁸

In der heutigen Situation, in der Politik und Wissenschaft vielfältig verknüpft sind, lassen sich Wissenschaft und Politik weniger denn je trennen.⁷⁹ Wissenschaftliche Denkstile sind oft eng mit politischen Interessen verknüpft – schon allein um für die eigenen Forschungen öffentliche Mittel zu mobilisieren, und politische Denkstile finden jeweils wissenschaftliche

Assessment: Shaping Technology in 21th Century. Towards a Repertoire for Technology Assessment. Berlin u. a.: Springer 2000.

⁷⁶ Ludwik Fleck: Erfahrung und Tatsache. Gesammelte Aufsätze. Frankfurt am Main: Suhrkamp 1983; hier S. 59.

⁷⁷ Ebd.; hier S. 172.

⁷⁸ Ebd.; hier S. 173.

⁷⁹ Peter Weingart: Wissenschaftssoziologie. Bielefeld: transcript 2003.

Denkstile und Denkgemeinschaften, die – aus taktischen Gründen oder gemeinsamen übergreifendem Denkstil – mit ihren Interessen und Zielen übereinstimmen. Die wissenschaftlichen Denkstile sind zugleich mit unterschiedlichen Weltbildern verbunden, innerhalb derer die technische Entwicklung verschiedene Funktionen hat.

Eine Visionen-Politik sowie Ansätze von Bildpolitiken, die sich auf nanotechnologische und -medizinische Zukunftsvisionen bezieht, kann die Wissensgenerierung in zwei konträre Richtungen beeinflussen beziehungsweise zu beeinflussen suchen: Unter der Prämisse, dass die allgemeine Öffentlichkeit gar kein relevantes Wissen in den Prozess der Technologieentwicklung einbringen kann und dass diese Öffentlichkeit auch keine Ansprüche an die Entwicklung von Zukunftstechnologien zu stellen hat – weil hier nur die Fachdisziplinen und die Industrie gefragt sind – könnten sich Versuche einer Kontrolle von Bildern herausbilden. Die Regulierung von Bildwelten, die Förderung von positiven Szenarien sowie Versuche, negative Szenarien politisch zu relativieren oder zu verhindern, könnte als ein weiteres Instrument zur Akzeptanzbeschaffung genutzt werden.

Mit der Visualisierung von Nanowelten können aber auch partizipative Verfahren weiter entwickelt werden, indem Bilder, Visionen und Szenarien als Ausgangspunkt genommen werden, um einer breiten Öffentlichkeit mögliche Nanowelten der Zukunft nahe zu bringen und diese möglichen Zukünfte damit breit diskutierbar zu machen. Die Visualisierung von Nanowelten wäre damit ein Instrument, um die Wissensbestände aus verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen in die Wissenschafts- und Technologieentwicklung einfließen zu lassen. Da die Entwicklung und Verbreitung von Schlüsseltechnologien immer auch eine umfassende gesellschaftspolitische Veränderung bedeutet⁸⁰, müssten solche partizipativen Verfahren darauf ausgerichtet sein, die Interessen einer breiten Öffentlichkeit in die Technologieentwicklung zu integrieren.

⁸⁰ Schaper-Rinkel (Anm. 15)