

Visuelle Defuturisierung und Ökonomisierung populärer Diskurse zur Nanotechnologie

ANDREAS LÖSCH

1 Einleitung¹

2004 verkündet die Informationsbroschüre *Nanotechnologie erobert Märkte* des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF):

»Weltweit findet die Nanotechnologie zunehmend Beachtung und wird als *Zukunftstechnologie* bezeichnet. Sie zeichnet sich durch den Effekt aus, dass allein aufgrund der Nanoskaligkeit von Systemkomponenten neue Funktionalitäten entstehen, die zu neuen oder verbesserten Produkteigenschaften führen. [...] Der Aufbruch, der in der wachsenden Dynamik der Nanotechnologie sichtbar wird, ist geschafft; jetzt kommt es darauf an, die Weichen für die künftige Förderung richtig zu stellen und den Durchbruch zu gestalten [...] Die Diskussion über die Innovations- und Technikfolgenabschätzung wird aktiv aufgegriffen, um der zum Teil kritischen Diskussion zu den Chancen und Risiken der Nanotechnologie in der Öffentlichkeit durch *Versachlichung* eine Richtung zu geben.« (BMBF 2004a: 4f.; Hervorhebungen A. L.).

Die für die öffentliche Vermittlung neuer Technologien recht übliche Aufforderung zur Versachlichung bestehender Kontroversen wirft bei Lesern, die mit Experten- und Mediendebatten zur Nanotechnologie vertraut sind, einige Fragen auf: Welche kritische Diskussion in der Öffentlichkeit soll versachlicht werden? Was wird unter Versachlichung verstanden? Auf welchen Gegenstand populärer Diskurse zur Nanotechnologie bezieht sich die Aufforderung zur Versachlichung?

In populären Diskursen zur Nanotechnologie, wie sie die Massenmedien arrangieren und repräsentieren, stellt z.B. die Realisierbarkeit futuristischer Visionen ein kontroverses Thema dar. Illustriert werden entsprechende Debatten in den Publikationen der Massenmedien häufig mit *futu-*

ristischen Science-Fiction-Bildern – z.B. von Nanorobotern oder von Mikro-U-Booten im menschlichen Körper. Genau genommen, müsste man aber sagen: Die futurischen Visionen *wurden* kontrovers diskutiert. Denn ab 2004 – dem Zeitpunkt der zitierten Versachlichungsforderung – sind die Visionen und ihre Bilder bereits weitgehend aus den populären Nano-Diskursen der Massenmedien verschwunden.² Die seit den späten 1990er Jahren häufig von den Massenmedien verwendeten futuristischen Bilder der Nanomaschinen im »Nanokosmos« des menschlichen Körpers werden zunehmend durch gegenwartsbezogene Bilder ersetzt. Diese Bilder zeigen Szenarien zukünftiger Nutzung nanotechnologischer Produkte und Verfahren im Labor, in der Klinik oder in alltäglichen Lebenswelten.

Zeitgleich mit dieser *visuellen Defuturisierung*³ beginnen populäre Nano-Diskurse, sich zunehmend auf Diskussionen potentieller Marktwerte nanotechnologischer Produktverbesserungen und zugleich auf Kalkulationen möglicher Risiken von Nanomaterialien (vor allem von Nanopartikeln) für die menschliche Gesundheit und Umwelt zu konzentrieren. Wenn die Forderung zur Versachlichung von öffentlichen Diskussionen diese enge Verkopplung von Erwartungen und Bedenken mit wirtschaftlichen Markt- und wissenschaftlichen Risiko-Kalkulationen von zukünftigen Verbesserungen gegenwärtiger Produkte durch die Nanotechnologie intendiert, kann mit gutem Recht verkündet werden: Gegenwärtig gibt es gar keine kritische Diskussion, die versachlicht werden könnte.

Die These dieses Beitrags lautet: Die von den Informationsbroschüren eingeforderte Versachlichung impliziert exakt die Defuturisierung, die in den populären Nano-Diskursen der Massenmedien *bereits* stattgefunden hat. Dieser Defuturisierungsprozess vollzog sich sichtbar auf der Ebene der Bilder durch einen Wechsel derjenigen visuellen Muster, mit denen sich populäre Nano-Diskurse mit dem *Phänomen* »Nanotechnologie« vertraut machen. Die Bilder ermöglichen den Diskursen gerade die Familiarisierung mit einem ihnen fremdartigen Phänomen.

Ein fremdartiges Phänomen ist die Nanotechnologie per se. Schließlich bezeichnet der Terminus »Nanotechnologie« (im Singular) nicht *eine* Technologie oder *ein* technisches Verfahren. »Nanotechnologie« steht vielmehr für ein Phänomen, das als ein Effekt von Verständigungen und Aushandlungen zwischen unterschiedlichen Diskursen einzustufen ist. Was alles als Nanotechnologie bezeichnet wird und werden könnte, variiert entsprechend der Konstellationen zwischen beispielsweise programmatischen Strategien der Forschungspolitik, ökonomischen Interessen und massenmedialen Formen öffentlicher Aufmerksamkeitserzeugung, die zu einem bestimmten Zeitpunkt vorherrschend sind. Dass höchst heterogene Technologien, Verfahren und Produkte – z.B. Kosmetika, antibakterielle Oberflächen, Bio-Sensoren, winzige Computer-Chips, Nahrungsmittelzusätze, Reinigungsmittel oder auch Produkte, die lediglich als »Nano« bezeichnet werden, ohne irgendwelche Nanopartikel zu enthalten (wie z.B.

das Badreinigungsspray *MagicNano*) – zu einer einzigen Technologie gerechnet werden, ist durchaus nicht selbstverständlich. Die einzige Bedingung solcher flexibler Zuordnungen wird von einer international konventionalisierten und äußerst vagen Definition vorgegeben. Diese besagt, dass die als Nanotechnologie bezeichneten Verfahren und Produkte auf technische Interventionen (während des gesamten Entwicklungsprozesses) im Größenmaßstab von kleiner als 100 Nanometern (< 100 nm) rückführbar sein müssen.⁴

Diskursive Konstitutionsprozesse des Phänomens Nanotechnologie lassen sich in den populären Nano-Diskursen der Massenmedien beobachten. Hier wirken visuelle *Zukunftsbilder* als Kommunikationsmedien, die sowohl Evidenzen für die ›Nanotechnologie‹ *innerhalb* unterschiedlicher Diskurse – z.B. der Wissenschaft, Wirtschaft und der Massenmedien – erzeugen, als auch sinnstiftende Verständigungen über Zukunftspotentiale (z.B. Nutzen und Risiken) von Nanotechnologien *zwischen* den Diskursen ermöglichen.⁵

In Fallstudien zu Zukunftsbildern der Nanotechnologie ließ sich beobachten, dass futuristische Bilder von Nanorobotern und Mikro-U-Booten eine Dynamik innerhalb der Kommunikationsprozesse populärer Nano-Diskurse evozieren. Die Bilder regen die Diskurse zu einer fortlaufenden Produktion von Interpretationen an; diese Interpretationen beeinflussen die Bewertungen der Zukunftspotentiale der Nanotechnologie in den Diskursen (vgl. Abschnitt 3.1). Die im Zeitverlauf – von den späten 1990er Jahren bis 2004 – beobachtbaren Variationen der Bildinterpretationen der Diskurse bereiten die ab 2004 sichtbare *Ersetzung futuristischer Zukunftsbilder durch gegenwartsbezogene Zukunftsbilder* vor. In diesen gegenwartsbezogenen Zukunftsbildern wird die Zukunft der Nanotechnologie als Resultat einer kontinuierlichen Verbesserung bekannter Produkte und Verfahren der Gegenwart vorgestellt. Dies wird in den Informationsbroschüren des BMBF evident (vgl. Abschnitt 3.2). Die Zukunftspotentiale der Nanotechnologie werden nicht mehr durch die Visualisierung futuristischer Visionen präsentiert, die die Distinktion der Nanotechnologie der Zukunft von existierenden Technologien der Gegenwart inszenieren.

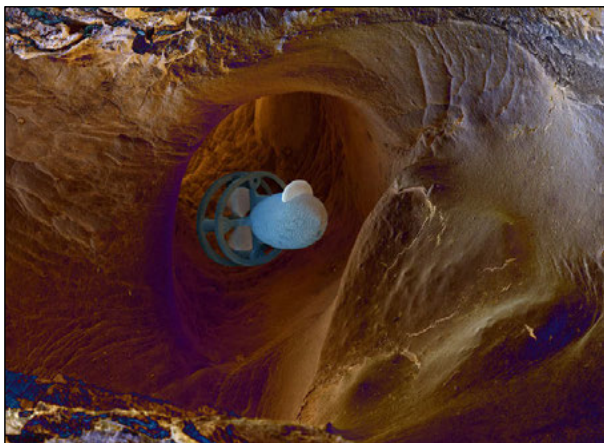
Diese visuelle Defuturisierung ist – wie dieser Beitrag ausführt – das Indiz einer zunehmenden Ökonomisierung populärer Nano-Diskurse (vgl. Abschnitt 4.1). Die Ökonomisierung der Diskurse korreliert dabei mit einem grundlegenden Wechsel der bildlichen Muster, welche die Diskurse mit den ›Zukünften‹ von Nanotechnologien vertraut machen (vgl. Abschnitt 4.2). Seit dem Bildwechsel lautet die Botschaft der Familiarisierung mit der Nanotechnologie nicht mehr: ›Erkenne die Potentiale der Nanotechnologie durch den Blick in die Zukunft‹; sie lautet nun: ›Sieh genau hin: Nanotechnologie ist bereits überall. Ihre Potentiale können genutzt werden.‹ Der Wechsel des Familiarisierungsmusters und die Ökonomisierung der Diskurse verweist auf die mediale Macht – sowohl futuristischer

als auch gegenwartsbezogener – Zukunftsbilder in populären Diskursen zur Nanotechnologie und allgemeiner in populären Diskursen zu neuen Technologien in gegenwärtigen Gesellschaften.

2 Futuristische und gegenwartsbezogene Zukunftsbilder

In populären Diskursen zur Nanotechnologie lassen sich zwei Typen von Zukunftsbildern unterscheiden: Von Ende der 1990er Jahre bis ca. 2003 zeigen Publikationen der Massenmedien bevorzugt futuristische Bilder, um Zukunftspotentiale der Nanotechnologie zu antizipieren. Ein häufig verwendetes Beispiel ist das Bild eines Mikro-U-Bootes in einer menschlichen Arterie (vgl. Abbildung 1).⁶ Im Gegensatz zu leitbildorientierten Zukunftsszenarien, die als Planungswerkzeuge in der Produktentwicklung oder der Unternehmenskalkulation eingesetzt werden, stellen die *futuristischen Zukunftsbilder* höchst spekulative visionäre Inhalte dar, die kaum auf gegenwärtige Entwicklungs- und Produktionsbedingungen bezogen sind.⁷ Ab 2004 verschwindet gerade dieser Bildtyp aus den Publikationen der Massenmedien.

Abbildung 1: Mikro-U-Boot in einer Arterie

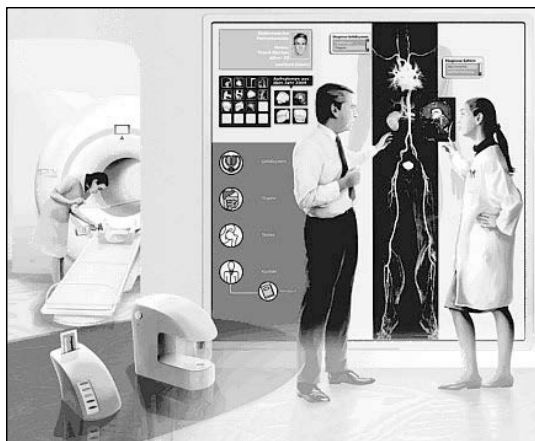


Reproduziert mit Erlaubnis von microTec/eye of science/Focus

Ein völlig anderer Typ von Zukunftsbildern wird gegenwärtig in den Informationsbroschüren der deutschen Forschungspolitik – z.B. *Nanotechnologie erobert Märkte* (BMBF 2004a) oder *Nanotechnologie: Innovationen für die Welt von morgen* (BMBF 2004b) – verwendet. Diese Broschüren sind Teil einer umfassenden Kampagne zur Information und Aufklärung

der Öffentlichkeit. Sie setzen *gegenwartsbezogene Zukunftsbilder* zur Vermittlung der Potentiale von Nanotechnologien ein. Die Darstellungen dieses Typs an Zukunftsbildern zeichnen sich durch sehr direkte Bezüge der Zukunftsszenarien zu gegenwärtigen wissenschaftlich-technischen Trends, industriellen Produktentwicklungen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen für die Nutzung nanotechnologischer Produkte aus. Solche Bilder präsentieren lebensweltliche Szenarien – z.B. Instrumente und Handlungen medizinischer Diagnostik in einem klinischen Untersuchungsraum (vgl. Abbildung 2).⁸

Abbildung 2: Klinischer Untersuchungsraum der Zukunft



Reproduziert mit Erlaubnis von Pictures of the Future, Siemens AG

Elemente dieser gegenwartsbezogenen Zukunftsbilder – z.B. Darstellungen der Nutzung von Nano-Produkten oder von Nanowissenschaftlern in ihren Arbeitswelten – finden sich zwar ebenso in den Publikationen der Massenmedien. Im Kontrast zu den forschungspolitischen Informationsbroschüren werden gegenwartsbezogene Produkt- und Nutzungsszenarien hier jedoch nicht als Mittel zur Antizipation von Zukunftspotentialen eingesetzt. Den Massenmedien dienen sie eher zur Darstellung des gegenwärtigen Standes nanotechnologischer Forschungen und Entwicklungen. Erst in Folge des Verschwindens des futuristischen Bildtyps aus den massenmedialen Publikationen ab 2004 erhalten die gegenwartsbezogenen Bilder dort den Status, dass sie sowohl die Zukunft als auch die Gegenwart der Nanotechnologie (re)präsentieren.

3 Beobachtungen der visuellen Defuturisierung

3.1 Die visuelle Defuturisierung populärer Nano-Diskurse

In populärwissenschaftlichen Magazinen, der Wirtschaftspresse und deutschen Tages- und Wochenzeitungen lässt sich eine grundlegende Transformation der Interpretationen solcher bildlichen Zukunftsdarstellungen beobachten: Bis ungefähr 2001 werden futuristische Bilder von Nanomaschinen (wie Abbildung 1) vorrangig als Darstellungen realisierbarer Innovationen der Zukunft interpretiert. Ab 2002 setzt eine Umwertung der bildlichen Darstellungen in den Texten ein. Die futuristischen Bilder werden nicht mehr als *Abbilder* zukünftiger Innovationen, sondern als *Metaphern* für unterschiedlichste Produktinnovationen der Nanotechnologie – z.B. im medizinisch-pharmazeutischen Bereich des zielgerichteten Medikamententransports (*drug delivery*) – betrachtet. Die potentielle Realisierbarkeit dieser Innovationen wird über neuartige Verfahren der molekularen Konstruktion von Nanopartikeln begründet. Nach 2004 verschwinden die – zwischen Ende der 1990er Jahre bis 2003 beständig und regelmäßig verwendeten – futuristischen Bilder von Nanorobotern und Mikro-U-Booten weitgehend aus den Publikationen der Massenmedien. Dagegen bleiben im gesamten Untersuchungszeitraum (Ende der 1990er Jahre bis 2006) gegenwartsbezogene Bilder von Nanowissenschaftlern in ihren Arbeitswelten und der Nutzung nanotechnischer Produkte konstant. Ab 2004 präsentieren sie aber für die Bildinterpretationen der Diskurse nicht mehr nur die Gegenwart, sondern *zusätzlich* die Zukunft der Nanotechnologie.⁹

Der Wandel der Bildinterpretationen wie der Bildwechsel ab 2004 sind Resultate von interdiskursiven Kommunikationsprozessen, die in den Foren der Massenmedien stattfinden und durch ›strukturelle Kopplungen‹ zwischen den divergierenden Sinnproduktionen spezifisch *wissenschaftlicher*, *wirtschaftlicher* und *massenmedialer* Diskurse ermöglicht werden. Innerhalb dieser Kommunikationsprozesse bewerten wissenschaftliche Diskurse die Zukunftspotentiale gegenwärtiger nanotechnologischer Entwicklungen entsprechend ihrer Einschätzung der *Realisierbarkeit* der bildlich dargestellten Innovationen der Zukunft. Für die Bewertungen wirtschaftlicher Diskurse ist die Kalkulierbarkeit der *Marktfähigkeit* verbildlichten Produkte und Verfahren relevant. Massenmediale Diskurse interessieren sich für die *Neuartigkeit* der durch die Bilder präsentierten Zukunftsinnovationen (vgl. Tabelle 1).¹⁰

Strukturelle Kopplungen zwischen den aufgrund ihrer unterschiedlichen Modi der Sinnproduktion divergierenden Diskursen werden jedoch erst durch die Zukunftsbilder ermöglicht. In den Foren der Massenmedien wirken die Bilder als *Kommunikationsmedien* zwischen den drei Diskursen, indem sie die Diskurse zu jeweils perspektivischen Bildinterpretatio-

nen und damit für den jeweiligen Diskurs sinnproduzierenden Relationierungen zwischen gegenwärtigen nanotechnologischen Entwicklungen und den verbildlichten Zukünften der Nanotechnologie anregen. Die Bilder initiieren und ermöglichen insofern Verständigungen zwischen den drei Diskursen über ihre spezifischen Bewertungen der Zukunftspotentiale gegenwärtiger Entwicklungen der Nanotechnologie.

Tabelle 1: Diskursspezifische Bewertungen

Diskurs	Bewertung
Wissenschaft	Realisierbarkeit
Wirtschaft	Marktfähigkeit
Massenmedien	Neuartigkeit

›Verständigung‹ meint in diesem Zusammenhang nicht ein sich gegenseitiges ›Verstehen‹ oder eine gemeinsame ›Konsensfindung‹ zwischen den Diskursen. In Anschluss an die Systemtheorie wird von einem irritativen und nicht von einem interventionistischen Verständigungsbegriff ausgegangen. Verständigungen zwischen den drei Diskursen werden nicht als vermittelnde Intervention des einen Diskursen in den anderen Diskurs begriffen; die Diskurse reagieren vielmehr auf jeweils diskursintern wahrgenommene äußere Irritationen. Diese Irritationen werden durch diskursspezifische Interpretationen von Bildern durch die einen Diskurse – z.B. wissenschaftliche Diskurse – in den jeweils anderen am Kommunikationsprozess beteiligten Diskursen – z.B. in wirtschaftlichen Diskursen – hervorgehoben. Verständigung bezeichnet somit Aushandlungen von Optionen mit Hilfe gemeinsamer Kommunikationsmedien, auf die sich spezifisch wissenschaftliche, wirtschaftliche und massenmediale Diskurse perspektivisch, mit ihren jeweils diskursspezifischen Bewertungen dieser Optionen sinnvoll beziehen können (vgl. Luhmann 1992a: 139).

Empirisch lassen sich solche Verständigungen zwischen Diskursen nur über ihre Resultate im Zeitverlauf von Kommunikationsprozessen rekonstruieren. Sie zeigen sich an Variationen von Konstellationen der Bildinterpretationen, die die Diskurse zu einem bestimmten Zeitpunkt produzieren. Durch die zeitliche Periodisierung der Bildinterpretationen zwischen Ende der 1990er Jahre bis 2006 anhand solcher vorherrschenden Konstellationen an Bildbezügen wissenschaftlicher, wirtschaftlicher und massenmedialer Diskurse lässt sich ein interdiskursiver Verständigungsprozess über die Zukunftspotentiale der Nanotechnologie rekonstruieren; dieser kann auch als Genealogie der Defuturisierung populärer Nano-Diskurse bezeichnet werden (vgl. Tabelle 2).

Der *textliche Kontext* (vgl. Tabelle 2) der durch die Bildinterpretationen ermöglichten Verständigungen, lässt sich folgendermaßen zusammen-

fassen: Die *erste Phase* (Ende der 1990er Jahre bis Mitte 2000) ist gekennzeichnet durch eine euphorische Aufbruchstimmung in Wissenschaft und Wirtschaft. Die ersten Optionen eines Übergangs von der Grundlagenforschung zur industriellen Anwendung von Nanotechnologien zeichnen sich ab. Die massenmedialen Publikationen beginnen in dieser Zeit meist mit einer Beschreibung von futuristischen Visionen (z.B. Nanoroboter und Mikro-U-Boote), welche im Verlauf der Artikel mit Beschreibungen marktorientierter Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (häufig im medizinisch-pharmazeutischen Sektor) kontrastiert werden (vgl. Müller 1998; Traufetter 2000).

Tabelle 2: Phasen des Defuturisierungsprozesses

Phase	Dominierende Bildinterpretation	Textlicher Kontext
Aufbruch (Ende der 1990er Jahre bis Mitte 2000)	Realisierbare Nanoroboter	Beginn der internationalen Forschungsförderung, Nanotechnologie wird Thema der Massenmedien
Problematisierung (Mitte 2000 bis Ende 2001)	Marktschädigende Visionen von Nanorobotern	Diskussion des Börsencrashes in der IT-Branche und die ›Bill-Joy-Debatte‹ in den Massenmedien
Metaphorisierung (2002 bis 2003)	Nanoroboter als Metaphern	Beginn der Risikodiskussion über die Toxizität von Nanopartikeln, Michael Crichtons Roman <i>Beute</i>
Defuturisierung (ab 2004)	Nanotechnologie ist Gegenwart	BMBF-Kampagnen zur Information der Öffentlichkeit, zunehmendes Spektrum marktfähiger Nano-Produkte

Bereits in der kurzen *zweiten Phase* (Mitte 2000 bis Ende 2001) werden Enttäuschungen der wirtschaftlichen Erwartungen artikuliert. Die industriellen Durchbrüche der Nanotechnologie scheinen sich bei weitem nicht mit der zuvor prognostizierten Geschwindigkeit zu realisieren. Begleitend zur Thematisierung des Börsencrashes in der IT-Branche setzt eine Problematisierung der Nanotechnologie als bloßer Hype und Modeerscheinung ein. Zur gleichen Zeit und hervorgerufen durch die ›Bill-Joy-Debatte‹ – in Folge des Wiederabdrucks von Joys pessimistischer Vision *Warum die Zukunft uns nicht braucht* in der *Frankfurter Allgemeinen Zeitung* (Joy 2000) – debattieren die Artikel verstärkt über mögliche negative Wirkun-

gen von futuristischen Visionen der Wissenschaft auf die Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Öffentlichkeit – so auch bei potentiellen Investoren (vgl. Knop 2000; Jung 2001).

Diese Konstellation ändert sich in der *dritten Phase* (2002-2003). Nun dominiert in den Artikeln die zunehmende Hoffnung auf Fortschritte bei der Entwicklung von neuen Nanomaterialien (vor allem basierend auf synthetischen Nanopartikeln) und der baldigen Herstellung marktfähiger Produkte (vgl. Waters 2003; Freise/Janich 2002). Nanopartikel werden als die »großen Markteroberer« tituiert (vgl. Knop 2003). Zeitgleich findet eine Kontroverse über die Auswirkungen von Michael Crichtons Roman *Beute*, in welchem ein Katastrophen-Szenario eines Schwarms außer Kontrolle geratener Nanoroboter entworfen wird, auf das öffentliche Verständnis der Nanotechnologie statt (vgl. Crichton 2002; Heckl 2002; Saxl 2002).¹¹ Im Kontrast zur zweiten Phase führt diese Kontroverse aber nicht mehr zu einer Problematisierung der futuristischen Visionen. Szenarien komplexer Nanomaschinen werden nun einerseits als *fiktionale* Visionen bewertet; andererseits gelten sie als geeignete *Metaphern* zur Erzeugung von Aufmerksamkeit für das generelle innovative Potential der Nanotechnologie bei der Verbesserung vielseitiger Verfahren, Materialien und Produkte (vgl. Haas 2003).

In der *vierten Phase* (ab 2004), die zeitlich mit der Versachlichungsforderung der eingangs zitierten BMBF-Broschüre (BMBF 2004a: 5) zusammenfällt, konzentrieren sich die Artikel nahezu ausschließlich auf die Diskussion der Marktwerte bereits entwickelter nanotechnologischer Produkte und auf deren zukünftige Verbesserungsmöglichkeiten (vgl. Grotelüschen 2004). Weitaus häufiger als in den vorhergehenden Phasen werden zudem die Unsicherheiten potentieller Risiken von Nanopartikeln für die menschliche Gesundheit und Umwelt thematisiert. Ein bekanntes Ereignis dieser Diskussionen sind die Gesundheitsschäden, die das Badreinigungsspray *MagicNano* bei Nutzern auslöste (vgl. Bullis 2006; Lindinger 2006).¹² Sowohl die Marktwert- als auch die Risikodiskussion werden aber nicht mehr in Bezug auf Visionen futuristischer Nanomaschinen geführt. Diese Visionen sind kein Thema der populären Nano-Diskurse in den Massenmedien mehr.

Innerhalb dieser Transformationen des textlichen Kontextes variieren von Periode zu Periode die *dominierenden Bildinterpretationen* (vgl. Tabelle 2), die spezifisch wissenschaftliche, wirtschaftliche und massenmediale Diskurse bei ihren Bewertungen der Zukunftspotentiale gegenwärtiger nanotechnologischer Forschungen und Entwicklungen produzieren. Diese periodischen Variationen der Bildinterpretationen stellen temporäre Effekte von interdiskursiven Verständigungen der jeweils vorhergehenden Phase dar. Anhand der Dynamik der diskursspezifischen Bildinterpretationen lassen sich folgende Verständigungen rekonstruieren, die alle auf Verarbeitungen von Irritationen basieren, die in den jeweiligen Diskursen durch

ihre Beobachtung der Bildinterpretationen der anderen Diskurse ausgelöst werden.

Für *wissenschaftliche Diskurse* lässt sich folgende Dynamik festhalten: In den Phasen des Aufbruchs und der Problematisierung (Ende 1990er Jahre bis Ende 2001; vgl. Tabelle 2) interpretieren sie die futuristischen Bilder der Nanomaschinen als Darstellungen *realisierbarer* technischer Innovationen der Zukunft. Deren Realisierbarkeit machen sie von wissenschaftlich-technischen Fortschritten – z.B. bei der Entwicklung geeigneter Antriebssysteme für miniaturisierte Mikromaschinen – abhängig. In der Metaphorisierungsphase (2002-2003) dagegen wechselt diese Bildinterpretation. Nunmehr stufen wissenschaftliche Diskurse die verbildlichten Visionen nicht mehr als realisierbar, sondern als fiktional ein. In der Defuturierungsphase (ab 2004) beziehen sich wissenschaftliche Diskurse nur noch auf die gegenwartsbezogenen Bilder der Produkt- und Nutzungsszenarien. Diese und nicht mehr die Bilder von futuristischen Visionen gelten ihnen nun als evidente *Beweise* für die Realisierbarkeit zukunftssträchtiger nanotechnologischer Entwicklungen. Wie korreliert diese Variation wissenschaftlicher Bildinterpretationen und Bewertungen nanotechnologischer Zukunftspotentiale mit dem Wandel der Bildinterpretationen wirtschaftlicher und massenmedialer Diskurse?

Der Wandel der Interpretationen der futuristischen Zukunftsbilder durch die wissenschaftlichen Diskurse erweist sich als eine Verarbeitung der Irritationen, die wirtschaftliche Problematisierungen von marktschädigenden Wirkungen futuristischer Nanomaschinen-Visionen (einsetzend ab Mitte 2000) bei wissenschaftlichen Diskursen auslösten. Denn *wirtschaftliche Diskurse* machen Mitte 2000 – ihrerseits irritiert durch die wissenschaftlichen Prognosen der Realisierbarkeit futuristischer Nanomaschinen – die wissenschaftliche Popularisierung futuristischer Visionen von Zukunftsinnovationen mit heutzutage völlig unkalkulierbarem Marktwert für das Desinteresse von Investoren an der Nanotechnologie verantwortlich. Aus wirtschaftlicher Sicht werden die futuristischen Bilder als Repräsentation einer Nanotechnologie eingestuft, deren zukünftige Marktfähigkeit völlig unkalkulierbar ist und die deshalb kein Interesse unter Investoren wecken kann. In der Metaphorisierungsphase (2002-2003) verkehrt sich aber exakt diese Bewertung nanotechnologischer Zukunftspotentiale durch wirtschaftliche Diskurse in eine generalisierende Interpretation nanotechnologischer Entwicklungen als hoffnungsvolle Schritte auf dem Weg zu vielversprechenden, marktfähigen Innovationen der Zukunft. Diese Transformation wirtschaftlicher Bewertungen korreliert mit der wissenschaftlichen Uminterpretation der futuristischen Nanomaschinen-Bilder in Fiktionen und Metaphern. Der Wechsel der wissenschaftlichen Bildinterpretation regte somit die wirtschaftlichen Diskurse zu einer für sie spezifischen Neubewertung nanotechnologischer Zukunftspotentiale an. In Folge des Bildwechsels in der Defuturierungsphase (ab 2004) beziehen sich dann

auch wirtschaftliche Diskurse ausschließlich auf die gegenwartsbezogenen Bilder der Produkt- und Nutzungsszenarien. Die Innovationspotentiale zukünftiger Nanotechnologien *kalkulieren* sie nun explizit ausgehend von den bildlich dargestellten Anwendungen und Produkten der Gegenwart. Die Zukunft von Nanotechnologien wird als eine kalkulierbare Verbesserung bereits realisierter Innovationen wahrgenommen. Deren Marktwerte haben sich bereits erwiesen.

An dieser Dynamik des Verständigungsprozesses zwischen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Diskursen sind massenmediale Diskurse folgendermaßen beteiligt: *Massenmediale Diskurse* bewerten in der Aufbruchphase (Ende der 1990er Jahre bis Mitte 2000) die futuristischen Bilder der Nanomaschinen als Darstellungen nanoskaliger Mikrosysteme, deren zukünftiger Realisierung aber ein absolut neuartiges molekulares Nano-Design von Atomen und Molekülen vorauszusetzen sei. In der Metaphorisierungsphase (2002-2003) verschiebt sich dieser massenmediale Bildbezug hin zu einer Interpretation der futuristischen Bilder als metaphorische Darstellungen von nahezu allen zukünftigen Nano-Produkten (nanoskalige Medikamententransportsysteme, Sensoren, Oberflächenbeschichtungen, Nanopulver usw.), die auf synthetischen Nanopartikeln basieren. Noch Mitte 2000 hatten massenmediale Diskurse exakt dieselben Forschungen und Produktentwicklungen als eher traditionelle Miniaturisierungen von Stoffen behandelt, die im Gegensatz zur neuartigen molekularen Konstruktion von Nanomaschinen wenig mit Nanotechnologie zu tun hätten. Massenmediale Diskurse markierten damit in der Aufbruchphase die verbildlichen futuristischen Nanomaschinen als einzig wirkliche und neuartige, aber erst in fernster Zukunft realisierbare Nanotechnologie. Damit irritierten auch sie die wirtschaftlichen Diskurse bei ihren Versuchen, die Marktwerte zukünftiger nanotechnologischer Zukunftsinnovationen auszuloten. Die spätere wissenschaftliche Umwertung der futuristischen Bilder in Metaphern für alle möglichen nanotechnologischen Innovationen verarbeiteten massenmediale Diskurse in der Form, dass sie nun Neuartigkeit allen *noch* zukünftigen nanotechnologischen Produkten und Verfahren zusprachen. Damit förderten sie die Aufwertung der wirtschaftlichen Einschätzungen der Marktwerte zukünftiger nanotechnologischer Innovationen. Mit dem Bild-Wechsel in der Defuturisierungsphase (ab 2004) beziehen sich auch die massenmedialen Diskurse bei ihren Bewertungen der Zukunftspotentiale der Nanotechnologie ausschließlich auf die gegenwartsbezogenen Bilder von Anwendungen und Produkten. Alle bisherigen und gegenwärtigen Methoden der Materialherstellung, die die Bilder darstellen, gelten den massenmedialen Diskursen nun als Resultate eines absolut neuartigen molekularen Designs von synthetischen Nanopartikeln.

Die Dynamik der Bewertungen der nanotechnologischen Zukunftspotentiale entspricht damit den Variationen der diskursspezifischen Bildin-

terpretationen, die von wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und massenmedialen Diskursen in den jeweiligen Phasen auf die futuristischen Zukunftsbilder hergestellt werden. Diese Dynamik mündet schließlich in einem Wechsel der Zukunftsbilder, auf die sich die Diskurse bei ihren spezifischen Bewertungen der Zukunftspotentiale von Nanotechnologien beziehen. Die *futuristischen Zukunftsbilder* werden durch *gegenwartsbezogene Zukunftsbilder* ersetzt. Dieser Wechsel der Zukunftsbilder in den Publikationen der Massenmedien entspricht damit einer *Konvergenz* der Bewertungen nanotechnologischer Zukunftspotentiale in wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und massenmedialen Diskursen. Die visuelle Defuturisierung und die diskursive Konvergenz sind der Effekt periodischer Umwertungen nanotechnologischer Zukunftspotentiale in interdiskursiven Verständigungsprozessen, die paradoxerweise durch die Polysemie und Interpretationsbedürftigkeit der futuristischen Bilder und deren Interpretationen durch divergierende Diskurse erst initiiert und ermöglicht wurden.

Durch die Periodisierung der Bildinterpretationen der drei Diskurse wird deutlich: Gegenwartsbezogene (Zukunfts)Bilder – z.B. von nanotechnologischen Anwendungen und Produkten – dienen den Diskursen seit der Defuturisierungsphase als eine Art Werkzeug zur *Kalkulation* zukünftiger nanotechnologischer Entwicklungen. Vor der visuellen Defuturisierung wurden diese gegenwartsbezogenen Bilder als Darstellungen erster Tastversuche auf dem Weg zur zukünftigen Realisierung komplexer Nanomaschinen (wissenschaftliche Diskurse), als Repräsentationen marktfähiger Produkte im Kontrast zu ›verrückten‹ Nanomaschinen (wirtschaftliche Diskurse) oder als Abbildungen traditioneller Technologie im Gegensatz zur Neuheit der Nanomaschinen der Zukunft (massenmediale Diskurse) interpretiert.

3.2 Die Arbeit mit defuturisierten Zukunftsbildern

Die Bedeutung dieser Ersetzung der futuristischen Visionen – auf bildlicher und auf diskursiver Ebene – durch Kalkulationen von Chancen und Risiken nanotechnologischer Produktverbesserungen für die flexible Konstitution des Phänomens ›Nanotechnologie‹ in populären Nano-Diskursen wird evident, wenn man sich die Argumentationsweisen und Visualisierungen vor Augen führt, die in den Broschüren des BMBF zur Information der Öffentlichkeit ausgewählt werden. Angesichts der skizzierten visuellen Defuturisierung der populären 3Nano-Diskurse ist die Versachlichungsforderung der Broschüren als eine Diagnose gegenwärtiger Transformationen populärer Nano-Diskurse und nicht als Imperativ zur Gestaltung populärer Diskurse zu betrachten.

In den Texten der einschlägigen Broschüren wird deutlich, dass die geforderte Versachlichung öffentlicher Diskussionen (vgl. Abschnitt 1) die

beobachtete visuelle Defuturisierung populärer Nano-Diskurse voraussetzen muss. Praktiziert wird sie in den Broschüren auf bildlicher und diskursiver Ebene durch spezifische Formen einer sehr direkten Verkopplung der Zukunft der Nanotechnologie mit ihrer Gegenwart.

Die Broschüren *Nanotechnologie. Innovationen für die Welt von morgen* (BMBF 2004b) oder *NanoTruck. Reise in den Nanokosmos* (BMBF 2004c) intendieren eine Defuturisierung populärer Nano-Diskurse im Namen wissenschaftlicher Objektivierung. Mit Verweis auf das Szenario Amok laufender Nanoroboter-Schwärme in dem Roman *Beute* (Crichton 2002) betont die Broschüre *NanoTruck*:

»Laut mehrheitlichen Expertenmeinungen aus Wissenschaft und Wirtschaft sind solche Schreckensvisionen absolut unrealistisch. Sie lösen jedoch Befürchtungen und Ängste in der Bevölkerung aus. Daher fördert das BMBF den öffentlichen Dialog über die Risiken der Nanotechnologie.« (BMBF 2004c: 38)

Diese Bewertung basiert auf dem für wissenschaftliche Diskurse grundlegenden Kriterium ›Wahrheit/Unwahrheit‹: Zwar wird erklärt, dass die »Diskussion der Risiken der Nanotechnologie – gleich ob diese wahrscheinlich oder futuristisch sind – [...] Sache der gesamten Gesellschaft« sei (ebd.: 39); gleichzeitig wird pointiert, dass nicht futuristische Visionen, sondern »mögliche negative Auswirkungen von Nanopartikeln auf die menschliche Gesundheit im Brennpunkt« der öffentlichen Diskussionen stehen sollten (ebd.). Öffentliche Diskussionen über potentielle Risiken der Nanotechnologie scheinen aus dieser Sicht von futuristischen Visionen dominiert. Diese Diskussionen sollen die Diskussion der Regulierung des Umgangs mit (durch die Toxikologie in Zukunft messbaren) gesundheitlichen Gefährdungen durch Nanopartikel fokussieren.

Diese Form *wissenschaftlicher* Versachlichung – durch Kopplungen der Bewertungen nanotechnologischer Zukunftspotentiale an das gegenwärtige und zukünftig erwartete Wissen über Risiken von Nanopartikeln – entspricht der Behandlung der zukünftigen Chancen und des Nutzens von nanotechnologischen Produkten und Verfahren in den Broschüren. Wird in *NanoTruck* z.B. der Nutzen von Nanotechnologien für »Medizin und Gesundheit« dargestellt, so ist der Unterschied zwischen *gegenwärtigem* Nutzen und *Zukunftsvision* äußerst gering. Als gegenwärtiger Nutzen wird z.B. die »Erkennung und Heilung von Krankheiten im Frühstadium ihrer Entstehung« genannt. Als eine der leitenden »Zukunftsvisionen« wird die Erfassung der »Entstehung von Krankheiten wie Krebs [...] auf molekularer Ebene« angeführt (BMBF 2004c: 30). Von Visionen ist in den Informationsbroschüren zwar permanent die Rede. Die als ›Visionen‹ bezeichneten Zukunftsszenarien unterscheiden sich jedoch grundlegend von den futuristischen Visionen der Nanomaschinen, die seit Ende der 1990er Jahre in den Publikationen der Massenmedien diskutiert wurden.

Wie nun Gegenwart und Zukunft in dieser Strategie der öffentlichen Vermittlung von Zukunftsoptionen der Nanotechnologie zueinander in Relation gesetzt werden, wird wieder anhand der textlichen Interpretationen der verwendeten Bilder evident. In *NanoTruck* werden sowohl Beschreibungen gegenwärtiger nanotechnologischer Verfahren im Feld der Medizin als auch Zukunftsvisionen der Nanomedizin mit der Fotografie eines Computer- oder Magnet-Resonanz-Tomographen (wie im Hintergrund von Abbildung 2) und einer mikroskopischen Aufnahme von Nanopartikeln illustriert. Die mikroskopische Aufnahme trägt den Untertitel »Nanoteilchen reichern sich in Krebszellen an (erkennbar an der dunklen Färbung)«. Ob die mikroskopische Aufnahme nun eher die *Zukunft* oder die *Gegenwart* von durch spezielle Nanopartikel ermöglichten Therapien darstellen soll, bleibt in der Beschreibung – »Forscher erproben derzeit Nanoteilchen im Kampf gegen den Krebs [...]« – uneindeutig (BMBF 2004c: 31).

Was Nanotechnologie ist und sein könnte, wird aus der Gegenwart *extrapoliert*. Diese Kalkulation von Zukunftspotentialen ausgehend von gegenwärtigen Bedingungen wird in den Informationsbroschüren durch an Alltagswelten orientierte Zukunftsbilder visuell umgesetzt. So werden gegenwartsbezogene Szenarien dazu verwendet, zukünftige Nutzungsweisen nanotechnischer Produkte möglichst aus Alltagssituationen herzuleiten, die vielen Lesern vertraut sind. Ein KlinikszENARIO (vgl. Abbildung 2), das Ärzte und Klinikpersonal bei der Auswertung von diagnostischen Bildern zeigt, wird von Beschreibungen des zukünftigen Nutzens der Nanotechnologie in der Medizin begleitet; hierbei werden Gegenwart und Zukunft folgendermaßen zueinander in Relation gesetzt:

»Orangensaft ist zuckrig. Zucker hilft, Karies zu erzeugen. Wieder ist Nanotechnologie gefragt: In der Zahnpasta (*gibt es schon*) stecken nanodimensionierte Kügelchen aus Apatit und Protein, dem natürlichen ZahnmateriAl, das dem Zahn wieder zu seiner Substanz verhilft. [...] Die Tagescreme (*gibt es schon*) enthält Nanokügelchen aus Zinkoxid gegen schädliche UV-Strahlung. Die Kügelchen sind unsichtbar, weil nanoskalig. [...] Die Medizin im Körper transportieren [...] Nanopartikel, die so beschichtet sind, dass sie nur am Krankheitsherd haften bleiben. »Drug delivery« punktgenau. [...] Mit ähnlichen Kniffen lassen sich auch nanoskalige Magnetpartikel an Krebsherde lenken, die dann von einem elektromagnetischen Wechselfeld erwärmt werden und den Tumor zerstören können. [...] Derzeit *beginnt* die klinische Erprobung.« (BMBF 2004b: 34f.; Hervorhebungen A. L.)

Sowohl anhand der Textbezüge als auch der Bilder ist es weitgehend unmöglich, eindeutig zwischen *zukünftigen* Innovationen und *gegenwärtig* realisierten nanotechnologischen Produkten zu unterscheiden. In den textlichen Beschreibungen müssen gegenwärtige Produkte wie Zahnpasta und Tagescreme geradezu mit dem Vermerk – »gibt es schon« – gekennzeichnet werden, damit überhaupt noch deutlich wird, dass es sich bei der Na-

notechnologie – z.B. bei der Krebstherapie mit Nanopartikeln – auch um eine Zukunftstechnologie handelt. Diese Form der Extrapolation der Zukunft aus der Gegenwart hat wenig mit wissenschaftlicher Versachlichung gemeinsam. Es handelt sich vielmehr um eine *wirtschaftliche* Versachlichung. Die Marktpotentiale zukünftiger nanotechnologisch verbesserter Produkte werden durch den Vergleich mit traditionellen Produkten, die ihren Marktwert bereits unter Beweis gestellt haben, kalkuliert. Die gegenwartsbezogenen Zukunftsbilder der Broschüren sind – so gesehen – als Kalkulationswerkzeug wirtschaftlicher Diskurse zu interpretieren.

Dieses Ergebnis ist nicht erstaunlich, wenn man bedenkt, dass die von den 2004 publizierten BMBF-Broschüren verwendeten Zukunftsbilder der Zeitschrift *Pictures of the Future* der Siemens AG entnommen sind (Aschenbrenner 2003; Zechbauer 2003). Der Forschungsabteilung des Siemens-Konzerns dienen die Bilder – so die Selbstbeschreibung der Szenarienkonstrukteure – dazu, ein »ganzheitliches Bild der künftig technischen Entwicklung« zu entwerfen, mit dem Ziel, sich einen »Überblick über die Technologien zu verschaffen, die in Zukunft eine wesentliche Rolle spielen werden«. Dieser Überblick soll es Siemens ermöglichen, »systematisch neue Geschäftsmöglichkeiten« aufzuspüren und schließlich das Unternehmen selbst nach »innen und außen« als ein »visionäres und innovatives Unternehmen« zu kommunizieren (Eberl 2002: 4). Die Bilder sollen durch Extrapolation »bekannte Technologien und Produktfamilien in die Zukunft« fortschreiben »und als Generationenfolge darstellen«. Zugleich sollen die Zukunftsszenarien »durch Retropolation in die Gegenwart die Aufgaben und Problemstellungen identifizieren« helfen, die für den Konzern »heute angegangen werden müssen, um in der Welt von morgen zu bestehen« (Eberl 2001: 5).

Somit sind diese von Siemens entworfenen Zukunftsbilder keine Visualisierungen futuristischer Visionen; es handelt sich dabei um an gegenwärtigen Entwicklungen, Ressourcen, Strategien und Interessen orientierte inner-unternehmerische Planungsinstrumente. In den an breite Öffentlichkeiten adressierten BMBF-Broschüren »verlassen« diese bildlichen Produkt- und Nutzungsszenarien aber ihren unternehmerischen Verständigungskontext. In populären Nano-Diskursen wirkt dieser Bildtyp als eine Art Prototyp für ein neues Muster der Familiarisierung. Dieses setzt sich in populären Nano-Diskursen in den letzten Jahren durch; es entspricht der visuellen Defuturisierung der Diskurse.

4 Interpretationen der visuellen Defuturisierung

4.1 Defuturisierung und Ökonomisierung

Die visuelle Defuturisierung populärer Nano-Diskurse und die Konvergenz der Zukunftserwartungen an gegenwärtige Produktverbesserungen durch nanotechnologische Verfahren finden ihren Niederschlag in der versachlichenden Vermittlung der Chancen und Risiken der Nanotechnologie in den forschungspolitischen Informationsbroschüren. Die Broschüren reproduzieren damit das Resultat interdiskursiver Verständigungen, die in den Massenmedien seit dem Ende der 1990er Jahre stattgefunden haben. Die visuelle Defuturisierung populärer Nano-Diskurse markiert einen Wechsel des dominanten Modus der Familiarisierung, mit dem sich unterschiedliche Diskurse mit dem Phänomen ›Nanotechnologie‹ vertraut machen.

In den späten 1990er Jahren dominierte ein *wissenschaftliches* Muster der Familiarisierung. Der Nanokosmos wurde als ein offener Möglichkeitsraum für Forschung, technologische Konstruktion und Intervention mit komplexen Nanomaschinen visualisiert. Massenmediale Diskurse bewerteten beispielsweise nur diejenigen Produktentwicklungen als neu, die sie den Verfahren auf dem Weg zur zukünftigen Konstruktion von Nanorobotern und anderen komplexen Nanomaschinen zurechneten. Futuristische Bilder von Nanomaschinen, die bekannte Science-Fiction-Motive mit bekannten Darstellungen der Innenräume des menschlichen Körpers kombinieren, machten die populären Nano-Diskurse bis 2004 mit den Potentialen der Nanotechnologie vertraut.¹³

In der Defuturisierungsphase werden von populären Nano-Diskursen zunehmend die Zukunftspotentiale einer breiten und sich zahlenmäßig ausweitenden Palette von marktfähigen, häufig schon länger bekannten Produkten – wie z.B. beschichtete und feuerfeste Oberflächen, schnelle Computer-Chips, verkapselte Arzneiwirkstoffe oder Reinigungsmittel – thematisiert. Diese Produkte werden nun als ›Nano-Produkte‹ bezeichnet. Zuvor galten sie – wenn sie überhaupt der Nanotechnologie zugerechnet wurden – höchstens als erste Hinweise auf dem Weg zur ›echten‹ Nanotechnologie der komplexen Nanomaschinen.¹⁴ In dieser Phase ist es nur evident, dass Formen der Familiarisierung über futuristische Bilder durch solche ersetzt werden, die die Nanotechnologie möglichst eng mit der Gegenwart verkoppeln. Wenn Nanotechnologie bereits in vielen gegenwärtigen Entwicklungen und Produkten erkennbar und wirksam sein soll, besteht für Sinnproduktionen über die Zukunftsoptionen der Nanotechnologie kein Bedarf mehr an den futuristischen Bildern. Die Botschaft der Familiarisierung durch futuristische Bilder – ›Erkenne die Potentiale der Na-

notechnologie durch den Blick in die Zukunft« – wird für sinnstiftende Verständigungen irrelevant. Nun gilt es Potentiale der Nanotechnologie in gegenwärtigen Entwicklungen und Produkten zu erkennen. Angesichts einer Vielzahl von Produkten, die mittlerweile die Bezeichnung ›Nano‹ tragen, lautet die neue Botschaft der Familiarisierung: ›Sieh hin: Nanotechnologie ist bereits überall. Ihre Potentiale können genutzt werden.«

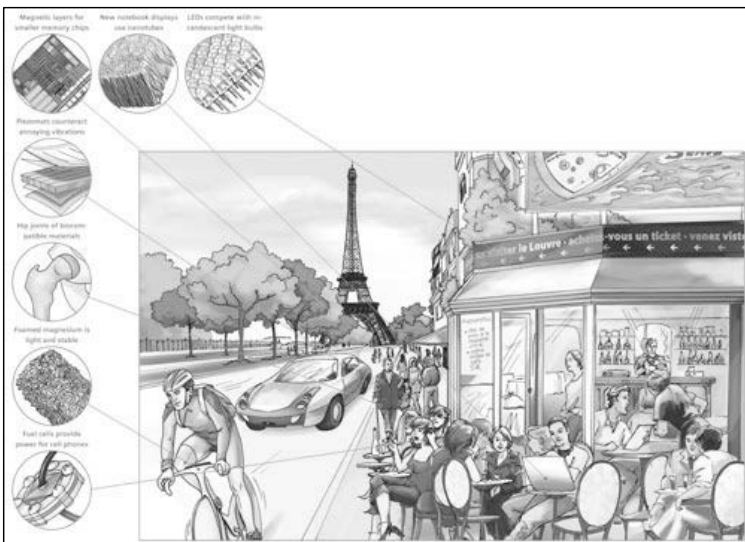
Diese Botschaft entspricht dem Familiarisierungsmuster wirtschaftlicher Diskurse. Denn wirtschaftliche Diskurse können sich mit dem Phänomen ›Nanotechnologie‹ nur vertraut machen, wenn es ihnen gelingt, Marktpotentiale (bzw. die zukünftige Marktfähigkeit) technologischer Entwicklungen der Gegenwart zu identifizieren.¹⁵ Eine solche Identifizierung ist um einiges einfacher, wenn Produkte der Zukunft vorwiegend als Verbesserungen von bereits erprobten und marktfähigen Produkten und nicht als unberechenbare radikale Innovationen in Folge von technologischen Revolutionen wahrgenommen werden. Eine dem *wirtschaftlichen* Familiarisierungsmuster entsprechende Situation tritt um 2004 ein. Seither konzentrieren sich die Debatten populärer Nano-Diskurse vorrangig auf die Bewertung der Potentiale der Entwicklung von neuen Nanomaterialien und durch nanotechnologische Verfahren optimierte Produkte – bei Kosmetika, feuerfesten Oberflächen, Medikamententransportsystemen usw.

Zeitgleich mit diesem Wechsel der dominierenden Muster der Familiarisierung integrierte die deutsche Forschungs- und Technologiepolitik ihren traditionellen Fokus auf die Förderung von *Materialverbesserungen* – in konkreten und national bedeutsamen Gebieten der Produktentwicklung wie z.B. Elektronik, Autoindustrie, optische Industrie und Lebenswissenschaften – in ihr Leitbild für Kampagnen der Öffentlichkeitsarbeit zur Nanotechnologie (BMBF 2004a: 28–33). Forschungs- und Technologiepolitik erscheint zwar als eine Kombination aus Wissenschaft und Politik; die Sinnproduktionen ihrer Diskurse folgen dennoch vorrangig dem »Muster der Politik« (vgl. Luhmann 1992b: 639).¹⁶ Das charakteristische Familiarisierungsmuster dieser Form der Politik basiert – in diesem Punkt ähnlich zu den wirtschaftlichen Diskursen – auf einer sehr engen Verkopplung von Zukunft und Gegenwart; sie versucht Entscheidungen über die Gestaltung der Zukunft der Nanotechnologie zu forcieren, deren Resultate möglichst schon während einer Legislaturperiode erwartet werden können. Die Darstellung der Nanotechnologie als eine Technologie, die – wenn auch in Anfängen – bereits überall vorhanden ist, praktiziert wird, genutzt werden kann und nur verbessert werden muss, kommt politischen Entscheidungen weitaus mehr entgegen als eine Nanotechnologie, die erst in ferner Zukunft – vielleicht aber auch nie – Erfolge bei ihrer Konstruktion komplexer Nanomaschinen vorzuweisen haben wird.

Die politische Förderung angewandter Forschung zu Nanomaterialien und die versachlichende Vermittlung der Nanotechnologie-Potentiale, die die Exklusion futuristischer Visionen von Nanomaschinen impliziert,

kommt wiederum den wirtschaftlichen Interessen an der Nanotechnologie entgegen. Sie entspricht dem wirtschaftlichen Familiarisierungsmodus einer Kalkulation von Zukunftspotentialen neuer Technologien durch ihre *Extrapolation* aus gegenwärtigen Entwicklungen und Rahmenbedingungen. Dementsprechend waren es auch genau die wirtschaftlichen Bewertungen nanotechnologischer Zukunftspotentiale, die Mitte 2000 wissenschaftliche und massenmediale Diskurse durch ihre Problematisierungen der Visionen von Nanomaschinen irritierten und die wissenschaftlichen Diskurse zu einer Verarbeitung dieser Irritation in Form der Metaphorisierung der Nanomaschinen-Visionen anregten. Der Effekt war die Hegemonie der wirtschaftlichen Familiarisierungsmuster in den Verständigungen über die Zukunft der Nanotechnologie – sichtbar ab 2004 an der allgemeinen Ökonomisierung und der visuellen Defuturisierung populärer Nano-Diskurse.

Abbildung 3: Nanotechnologie im Alltag: Versteckte Wunder



Reproduziert mit Erlaubnis von Pictures of the Future, Siemens AG

Die Metaphorisierung der futuristischen Visionen durch wissenschaftliche Diskurse (ab ca. 2002) bereitete die populären Nano-Diskurse darauf vor, die Zukunft und das Neue an der Nanotechnologie in bereits existierenden Technologien, Entwicklungen und Produkten zu sehen. Seit 2004 ist das unbekannte Neue der Zukunft der Nanotechnologie überall in der Gegenwart bereits präsent. Die gegenwartsbezogenen Zukunftsbilder der Informationsbroschüren visualisieren dieses Familiarisierungsmuster in evidenter Form: »Versteckte Wunder« lautet zum Beispiel der Titel eines Zu-

kunftsszenarios, das Nutzungsweisen von Nanomaterialien im Alltagsleben darstellt. Ursprünglich wurde das Szenario im Siemens-Magazin *Pictures of the Future* (Aschenbrenner 2003) publiziert. Von der BMBF-Broschüre *Nanotechnologie. Innovationen für die Welt von morgen* wurde es reproduziert (BBF 2004b; siehe Abbildung 3).

4.2 Bilder als Medien der Familiarisierung

Die Zukunftsbilder wirken als visuelle Medien der unterschiedlichen Modi der Familiarisierung. Insofern übernehmen sie eine wichtige Rolle bei der diskursiven Konstitution des Phänomens ›Nanotechnologie‹.¹⁷ Die konstitutive Wirkung der Bilder wird in der zeitlichen Dimension von Kommunikationsprozessen sichtbar: nämlich anhand der Umwertungen von nanotechnologischen Zukunftspotentialen in den Bildinterpretationen der unterschiedlichen Diskurse.

Einerseits hängt damit die mediale Macht der Bilder von ihrem Nutzungskontext ab (vgl. Maasen et al. 2006; Mitchell 1986). Andererseits wird gerade dieser Kontext – die populären Nano-Diskurse – von Diskursen und Bildern ko-konstituiert. Der Kontext verändert sich in Relation zu den visuellen Mustern der Bilder. Der Philosoph Dieter Mersch hat wissenschaftliche Bilder als »visuelle Argumente« bezeichnet (Mersch 2006). Der vorliegende Beitrag erweitert diese Perspektive auf alle gesellschaftlichen Kontexte, in denen Bilder als Medien der Kommunikation und Wissensproduktion eingesetzt werden: Zukunftsbilder der Nanotechnologie dienen diversen populären Diskursen als visuelle Argumente und lassen sich als Techniken der Sichtbarmachung von Möglichkeiten und damit der Familiarisierung mit unbekannten Phänomenen interpretieren.¹⁸

Die futuristischen Bilder von Nanomaschinen dienen in populären Nano-Diskursen vorwiegend als *Beweise*: Für *wissenschaftliche* Diskurse belegen sie die Realisierbarkeit oder auch die Fiktionalität der Nanoroboter; für *massenmediale* Diskurse repräsentieren sie entweder die Neuartigkeit oder die Traditionalität der winzigen Maschinen. Dagegen ist es für *wirtschaftliche* Diskurse entscheidend, dass die Bilder die zukünftige Marktfähigkeit der dargestellten Zukunftsprodukte kalkulierbar machen. Sicherlich sind visuelle Bilder als *Kalkulationen* auch argumentative Mittel der Wissenschaft im Forschungskontext.¹⁹ In populären Nano-Diskursen ist die Wissenschaft jedoch dazu aufgefordert, Evidenzen für die Ziele und Potentiale von Nanotechnologien in einer Form zu erzeugen, welche den ›Regeln‹ der Massenmedien²⁰ entspricht: Wissenschaft hat sich u.a. als Projekt zur Entdeckung von etwas genuin ›Neuem‹ zu inszenieren.

Im Zuge der fortschreitenden Ökonomisierung populärer Nano-Diskurse verwundert es nicht, dass gegenwartsbezogene Zukunftsbilder aus dem Planungsbereich von Unternehmen (vgl. Abbildungen 2 und 3) die Zukunftsbilder von futuristischen und im Nanokosmos platzierten Maschinen

ersetzen. Die gegenwartsbezogenen Zukunftsbilder sind visuelle Lösungen der unternehmensinternen Kalkulationserfordernisse. Die Bilder sind Werkzeuge, um »systematisch neue Geschäftsmöglichkeiten« aufzuspüren, indem sie durch Extrapolation »bekannte Technologien und Produktfamilien in die Zukunft« fortschreiben und »durch Retropolation in die Gegenwart die Aufgaben« identifizieren helfen, die von einem Unternehmen »heute angegangen werden müssen«, um in Zukunft marktfähig zu bleiben (Eberl 2001: 4f.). Die gegenwartsbezogenen Zukunftsbilder von zukünftigen Nano-Produkten und Nutzungsweisen haben im Gegensatz zu den futuristischen Bildern gerade ›Wunder‹ zu vermeiden und zu verstecken (vgl. Abbildung 3). Das Neue und die Zukunft müssen im Traditionellen und in der Gegenwart bereits identifizierbar sein.

Die Forderung nach Versachlichung öffentlicher Diskussionen in der Broschüre *Nanotechnologie erobert Märkte* (BMBF 2004a: 4f.) entspricht diesem Wandel der visuellen Muster, mit denen sich populäre Nano-Diskurse mit ungewissen Zukünften vertraut machen. Die futuristischen Bilder der Nanomaschinen produzierten zweierlei: Aufmerksamkeit für das wissenschaftliche Projekt der Entdeckung der ›Wunder‹ des Nanokosmos und Orientierung für die technologische Gestaltung des Nanokosmos durch Nanomaschinen. Diese Bilder versuchten, den Betrachter von der Existenz eines Raumes für vielseitige wissenschaftlich-technische Möglichkeiten zu überzeugen, indem sie den Raum mit Maschinen kolonisierten. Den Massenmedien dienten diese Bilder als Beweis für einen Raum, in dem sie immer wieder neue Informationen ›entdecken‹ konnten. Nach der visuellen Defuturisierung will nun aber das visuelle Muster der Familiarisierung nicht mehr Aufmerksamkeit für unbekannte Räume wecken und Beweise für die Möglichkeiten ihrer wissenschaftlich-technischen Bearbeitung heranschaffen. Das neue Familiarisierungsmuster dient dem Vertrautmachen mit zukünftigen nanotechnologischen Innovationen durch ihre ökonomische Kalkulierbarkeit. An die Stelle des visuellen Beweises der Möglichkeiten der Nanotechnologie tritt die visuelle Kalkulation ihrer Marktpotentiale.

5 Schluss

Die zeitliche Entsprechung von zunehmender Ökonomisierung populärer Nano-Diskurse und Ersetzung futuristischer Visionen durch Erwartungen, die die Zukunft sehr eng mit der Gegenwart verkoppeln, könnte als ein generelles Phänomen in der Genese neuer Technologien in gegenwärtigen Gesellschaften angesehen werden. Dieser Familiarisierungsprozess erscheint geradezu als Bedingung erfolgreicher gesellschaftlicher Implementierung neuer Technologien und damit der Möglichkeit technologischer Innovationen.

Das Phänomen ›Nanotechnologie‹ ist aber besonders bemerkenswert, weil es a priori den Effekt diskursiver Verständigungs- und damit Familiarisierungsprozesse darstellt. Zu den vielfältigen Entwicklungen, Verfahren und Produkten, die zur Nanotechnologie gerechnet werden, lassen sich flexibel – in Abhängigkeit zu den zeitlich jeweils etablierten diskursiven Konstellationen – nicht-existierende Zukunftstechnologien und ebenso gegenwärtige Verbesserungen von bereits realisierten Produkten zählen. Letztere würde man gar nicht als neuartig wahrnehmen, würden sie nicht als ›Nanotechnologie‹ bezeichnet. Deshalb lassen sich im Fall ›Nanotechnologie‹ – im Vergleich zu früheren Fällen der Gestaltung neuer Technologien – weitaus mehr enge und im Zeitverlauf variierende Kopplungen zwischen Diskursen unterschiedlicher gesellschaftlicher Herkunft und ein stärkerer Einfluss populärer Diskurse, wie sie von den Massenmedien arrangiert und repräsentiert werden, beobachten.

Im interdiskursiven Feld der ›Nanotechnologie‹ wird die mediale Macht der visuellen Zukunftsbilder besonders evident. Die Macht der Bilder lässt sich nicht länger adäquat durch eine Differenzierung der Bilder nach ihren ursprünglichen Herstellungs- und Nutzungskontexten – z.B. als vorwiegend wissenschaftliche Argumente im Forschungskontext, als reine unternehmensinterne Kalkulationsinstrumente oder als Mittel der Wissenschaftspopularisierung – erklären. In populären Nano-Diskursen bündeln die Bilder alle diese Wirkungen und Funktionen.

Das Phänomen ›Nanotechnologie‹ und die Dynamik seiner Familiarisierungsmuster kann als prototypisch für die Gestaltung neuer Technologien in gegenwärtigen Gesellschaften interpretiert werden. Nahezu alle neuen Technologien sind gegenwärtig zugleich wissenschaftsbasierte Technologien und Technologien, die im Kontext ihrer gesellschaftlichen Anwendung entwickelt werden. Die Konstitution solcher Technologien außerhalb heterogener Verständigungen in Foren wie den Massenmedien ist höchst unwahrscheinlich.

Darüber hinaus kann man den Fall ›Nanotechnologie‹ als ›Leitbild‹ einer gegenwärtigen wirtschaftlichen Ära interpretieren, in der Kapital zunehmend durch die virtuelle Erfindung von Investmentobjekten akkumuliert wird. Diese Art der Erfindung setzt Diskurse und geeignete visuelle Medien voraus, die das innovative Moment innerhalb der alten, bereits existierenden Produkte distinktiv hervorheben. Populäre Technologie-Diskurse machen diesen Job ganz gut: Sie erzeugen zuerst Wunder, stellen diese dann ins Rampenlicht und lassen sie rechtzeitig wieder verschwinden.

Anmerkungen

- 1 Die diesem Beitrag zugrundeliegende Forschung wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft durch die Finanzierung des Projektes Räume der medizinischen Mikro- und Nanotechnologie. Eine wissenssoziologische Fall-

- studie zur Vermittlung technischer Innovationen an der TU Darmstadt unterstützt. Eine ähnliche Version dieses Beitrages erscheint auf Englisch in Mario Kaiser et al. (Hg.): *Assessment Regimes of Technology. Identity, Ethics, and Governance of Nanotechnology*. Sociology of the Sciences Yearbook, Berlin, New York: Springer.
- 2 Mit »Publikationen der Massenmedien« sind populärwissenschaftliche Magazine, die Wirtschaftspresse und Tages- und Wochenzeitungen gemeint. Mit »populäre Nano-Diskurse« werden spezifische Kombinationen aus Diskursen unterschiedlicher gesellschaftlicher Herkunft – so der Wissenschaft, Wirtschaft und Politik – bezeichnet, deren Konstellationen zueinander von den Massenmedien arrangiert werden und denen die Massenmedien ein Forum für interdiskursive Verständigungen anbieten. In Orientierung an Niklas Luhmanns Theorie der Massenmedien und Peter Weingarts Medialisierungsthese werden massenmediale Debatten als eine Art allgemeines Forum betrachtet, in welchem Diskurse spezifischer Öffentlichkeiten – z.B. Diskurse aus der Forschungspolitik, aus unterschiedlichen Feldern der Wissenschaft, aus dem Investment und dem Unternehmensbereich und auch des Journalismus selbst – miteinander verknüpft werden (vgl. Weingart 2001: 232–282; Luhmann 2004).
 - 3 Nach Luhmann eröffnen gegenwärtige Zukunftsbeschreibungen einen Raum für wählbare Zukunftsoptionen. Sie bilden den verfügbaren Möglichkeitshorizont sich gegenseitig ausschließender Optionen. »Defuturisierung« bezeichnet in diesem Zusammenhang den zeitlichen Prozess der Reduktion (Exklusion) von Möglichkeiten der Zukunft (Luhmann 1990; 1992a) in Folge von Verständigungen zwischen Diskursen über die Zukunftspotentiale von Nanotechnologien.
 - 4 Die Betrachtung der Nanotechnologie als gesellschaftliche und diskursive Konstruktion hat sich in den letzten Jahren zu einem Gemeinplatz in der Wissenschafts- und Technikforschung (STS) zur Nanotechnologie etabliert (vgl. Fogelberg/Glimell 2003; Schummer 2004; Nordmann 2007; Lösch et al. [im Erscheinen]).
 - 5 Verschiedene Studien der Wissenschaftsforschung haben konstitutive Funktionen von visuellen Bildern für die Entwicklung der Nanotechnologie in wissenschaftlichen und populären Kontexten untersucht (vgl. Hennig 2004; Nerlich 2005; Hayles 2004; Nordmann 2004). Sie untersuchten jedoch nicht die zeitlichen Dynamiken von Kommunikationsprozessen, die durch die Bilder als Medien der Diskurse erst initiiert werden.
 - 6 Das Bild des Mikro-U-Bootes zeigt den Prototyp eines U-Bootes im Mikrometer-Maßstab, welchen die deutsche Firma microTec, um öffentliche Aufmerksamkeit für ihre Produkte zu erzeugen, auf der Expo im Jahr 2000 präsentierte (vgl. Moore 2001).
 - 7 Vgl. die entsprechende Definition von futuristischen Visionen bei Grunwald 2006.
 - 8 Dieses Bild wurde ursprünglich in der Zeitschrift *Pictures of the Future* der Siemens AG publiziert (Zechbauer 2003). Die Forschungsabteilung von Siemens produzierte dieses und ähnliche Bilder vorrangig als innerunternehmerische Planungsinstrumente (dazu Abschnitt 3.2).
 - 9 Die in diesem Abschnitt zusammengefassten Ergebnisse von Fallstudien zur Medialität visionärer Bilder der Nanotechnologie sind ausführlicher und empirisch hergeleitet publiziert in Lösch (2006a): zur Medialität futuristischer Bilder und in Lösch (im Erscheinen): zur Medialität futuristischer in Relation zu gegenwartsbezogenen Zukunftsbildern.
 - 10 Der diskursanalytische Zugang orientiert sich am Diskurskonzept Michel Foucaults (vgl. Foucault 1981). Die Differenzierung zwischen den drei Diskursen orientiert sich an der systemtheoretischen Unterscheidung sozialer

Subsysteme nach ihren primären Codes. Das heißt: Innerhalb der Gesamtheit der Bildinterpretationen der Texte lassen sich Aussagetypen unterscheiden, die die bildlich dargestellten Produkte und Verfahren der Zukunft entweder nach der Unterscheidung ›Wahrheit/Unwahrheit‹ (Wissenschaft), ›Marktwert/kein Marktwert‹ (Wirtschaft) oder ›Neue Information/alte Nicht-Information‹ (Massenmedien) bewerten (vgl. Luhmann 1992b, 1994, 2004). Der analytische Mehrwert dieser Kombination aus Diskursanalyse und Systemtheorie wird in Lösch 2006b diskutiert.

- 11 In dieser Phase erreicht auch die wissenschaftliche Kontroverse zwischen K. Eric Drexler und Richard Smalley über die Realisierbarkeit von sich selbst vermehrenden Nanoassemblern ihren Höhepunkt (vgl. Baum 2003).
- 12 Eine ausführliche Darstellung der Entwicklung dieser Risiko- und Regulierungsdebatte findet sich in Lösch et al. (im Erscheinen).
- 13 Für eine Analyse des Wechselspiels der Nanokosmos-Bilder zwischen den unendlichen Räumen des Weltalls und den Mikroräumen des Körperinneren bei Darstellungen der Nanotechnologie vgl. Nordmann 2004, 2007.
- 14 Für eine Liste gegenwärtiger Nano-Produkte siehe:
<http://www.nanotechproject.org/index.php?id=44>.
- 15 Für wirtschaftliche Sinnproduktionen vgl. Luhmann 1994.
- 16 Sinnproduktionen der Politik orientieren sich nach Luhmann am Bewertungskriterium ›Macht haben/keine Macht haben‹; in der zeitlichen Dimension wird die Sinnproduktion damit durch Legislaturperioden begrenzt (vgl. dazu Luhmann 1988: 180).
- 17 In der Sozialdimension von Verständigungen sind die Bilder Mittel *zur* Kommunikation; in ihrer materiellen Dimension sind sie die konstitutiven Medien *der* Kommunikation. Die Bilder funktionieren als Medien der beteiligten Diskurse, da sowohl die Darstellungen der futuristischen als auch der gegenwartsbezogenen Zukunftsbilder ›lose Kopplungen‹ zwischen unterschiedlichen Wissenselementen ermöglichen. Aus diesen produzieren die Diskurse ›strikte Kopplungen‹ in Entsprechung zu ihren diskurs- bzw. systemspezifischen Formen der Sinnproduktion. Die Interpretation der Medialität der Zukunftsbilder orientiert sich an Luhmanns Medienkonzept (u.a. Luhmann 1992b: 53f.).
- 18 Die Bilder stellen Relationen zwischen visuellen und diskursiven Welten, dem »Sichtbaren« und dem »Sagbaren« her (vgl. Deleuze 1987).
- 19 Bezogen auf wissenschaftliche Bilder unterscheidet Mersch – orientiert an Hans-Jörg Rheinbergers Konzept des »epistemischen Dings« (Rheinberger 2001) – zwischen visuellen Bildern als *Beweis* und visuellen Bildern als Werkzeug der *Kalkulation* (Mersch 2006: 97; ähnlich: Sachs-Hombach 2003: 201–215).
- 20 Vgl. dazu Anmerkung 2.

Literatur

- Aschenbrenner, Norbert (2003): »Szenario 2015 – Materialforschung: Versteckte Wunder«. Pictures of the Future. *Zeitschrift für Forschung und Innovation* Frühjahr: 6–8.
- Baum, Rudy (2003): »Nanotechnology. Drexler and Smalley make the case for and against ›molecular assemblers‹«. *Chemical & Engineering News* 81: 37–42.

- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (2004a): *Nanotechnologie erobert Märkte. Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie*, Berlin: BMBF.
- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (2004b): *Nanotechnologie. Innovationen für die Welt von morgen*, Berlin: BMBF.
- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (2004c): *Nano-Truck. Reise in den Nanokosmos. Die Welt kleinster Dimensionen*, Berlin: BMBF.
- Bullis, Kevin (2006): »Angst vor Nano im Regal«. *Technology Review* 12. April 2006: <http://www.heise.de/tr/artikel/print/71931>.
- Crichton, Michael (2002): *Beute (Prey)*, München: Blessing.
- Deleuze, Gilles (1987): *Foucault*, Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Eberl, Ulrich (2001): »Pictures of the Future – ein Verfahren, die Zukunft zu erfinden«. *Pictures of the Future, Zeitschrift für Forschung und Innovation* Herbst: 4–5.
- Eberl, Ulrich (2002): »Die ganzheitliche Zukunftsplanung«. *Pictures of the Future, Zeitschrift für Forschung und Innovation* Frühjahr: 4–5.
- Fogelberg, Hans/Glimell, Hans (2003): *Bringing Visibility to the Invisible*, Göteborg: Göteborg University.
- Foucault, Michel (1981): *Die Archäologie des Wissens*, Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Freise, Anette/Janich, Oliver (2002): »Winzlinge nach Maß«. *Focus-Money* 18. April 2002: 22–24.
- Grotelüschen, Frank (2004): »Rasanter Fortschritt im Reich der Zwerge«. *Financial Times Deutschland* 22. Januar 2004, S. 28.
- Grunwald, Armin (2006): »Nanotechnologie als Chiffre der Zukunft«. In: Alfred Nordmann/Joachim Schummer/Astrid Schwarz (Hg.), *Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven*, Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft, S. 49–80.
- Haas, Lucien (2003): »Im Land der Zwerge. Nanotechnologie lässt Forscher von einer neuen Welt träumen/Maschinen aus wenigen Atomen«. *Frankfurter Rundschau* 9. Dezember 2003: 28–29.
- Hayles, N. Katherine (Hg.) (2004): *Nanoculture. Implications of the New Technoscience*, Bristol, Portland, OR: Intellect Books.
- Heckl, Wolfgang (2002): »Wie gefährlich ist die Nanotechnologie? Der Physiker und Nanowissenschaftler Wolfgang M. Heckl über Science und Fiction in Michael Crichtons Roman«. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 1. Dezember 2002: 28.
- Hennig, Jochen (2004): »Vom Experiment zur Utopie.: Bilder in der Nanotechnologie«. *Bildwelten des Wissens. Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik* 2: 9–18.
- Joy, Bill (2000): »Warum die Zukunft uns nicht braucht«. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 6. Juni 2000: 49.

- Jung, Alexander (2001): »Aufbruch in die Zwergenwelt«. *Der Spiegel* 22. Dezember 2001: 96–98.
- Knop, Carsten (2000): »Die Nano-Roboter kommen«. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 27. November 2000: C5.
- Knop, Carsten (2003): »Wirtschaften mit den Winzlingen: Was ist Nanotechnologie?«. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 1. Januar 2003, S. 39.
- Lindinger, Manfred (2006): »Giftzerge – Welche Gesundheitsrisiken lauern in Nanopartikeln?«. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* 24. Mai 2006: 37.
- Lösch, Andreas (2006a): »Antizipationen nanotechnischer Zukünfte: Visionäre Bilder als Kommunikationsmedien«. In: Alfred Nordmann/Joaachim Schummer/Astrid Schwarz (Hg.), *Nanotechnologien im Kontext. Philosophische, ethische und gesellschaftliche Perspektiven*, Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft, S. 223–242.
- Lösch, Andreas (2006b): »Means of Communicating Innovations. A Case Study for the Analysis and Assessment of Nanotechnology's Futuristic Visions«. *Science, Technology & Innovation Studies* 2: 103–125.
- Lösch, Andreas (im Erscheinen): »Konstitutionen der Nanotechnologie durch ihre Zukunftsbilder«. In: Stefan Gammel/Arianna Ferrari (Hg.): *Visionen der Nanotechnologie – Zur (Selbst-)Fiktionalisierung der Wissenschaft*, Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft.
- Lösch, Andreas/Gammel, Stefan/Nordmann, Alfred (im Erscheinen): »Observieren, Sondieren, Regulieren (Bestandsaufnahmen und Modellentwurf)«. In: Stefan Gammel/Andreas Lösch/Alfred Nordmann (Hg.), *Observieren, Sondieren, Regulieren. Zur gesellschaftlichen Einbettung nanotechnologischer Entwicklungsprozesse*, Berlin: Akademische Verlagsgesellschaft.
- Luhmann, Niklas (1988): *Ökologische Kommunikation*, Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Luhmann, Niklas (1990): »Die Zukunft kann nicht beginnen: Temporalstrukturen der modernen Gesellschaft«. In: Peter Sloterdijk (Hg.), *Vor der Jahrtausendwende: Berichte zur Lage der Zukunft*, Bd. 1, Frankfurt/M.: Suhrkamp, S. 119–150.
- Luhmann, Niklas (1992a): »Die Beschreibung der Zukunft«. In: Niklas Luhmann (Hg.), *Beobachtungen der Moderne*, Opladen: Westdeutscher Verlag, S. 129–147.
- Luhmann, Niklas (1992b): *Die Wissenschaft der Gesellschaft*, Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Luhmann, Niklas (1994): *Die Wirtschaft der Gesellschaft*, Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Luhmann Niklas (2004): *Die Realität der Massenmedien*, Wiesbaden: VSV-SW.
- Maasen, Sabine/Mayerhauser, Torsten/Renggli, Cornelia (Hg.) (2006): *Bilder als Diskurse. Bilddiskurse*, Weilerswist: Velbrück.

- Mersch, Dieter (2006): »Visuelle Argumente. Zur Rolle der Bilder in den Naturwissenschaften«. In Sabine Maasen/Torsten Mayerhauser/Cornelia Renggli (Hg.), *Bilder als Diskurse. Bilddiskurse*, Weilerswist: Velbrück, S. 95–116.
- Mitchell, W.J.T. (1986): *Iconology: Image, Text, Ideology*, Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Moore, Andrew (2001): »Of silicon and submarines«. *EMBO reports* 2: 367–370.
- Müller, Bernd (1998): »Aufbruch in die Nanozeit«. *Bild der Wissenschaft* 4: 52–58.
- Nerlich, Brigitte (2005): »From Nautilus to Nanobo(a)ts: The Visual Construction of Nanoscience«. *AzoNano – Online Journal of Nanotechnology* Dezember: <http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1466>.
- Nordmann, Alfred (2004): »Nanotechnology's Worldview: New Space for Old Cosmologies«. *IEEE Technology and Society Magazine* 4: 48–54.
- Nordmann, Alfred (2007): »Gestaltungsspielräume in der Nanowelt: Eine Space-Odyssee«. In: Dieter Korczak/Anton Lerf (Hg.), *Nanotechnologie: Erwartungen, Anwendungen, Auswirkungen*, Kröning: Asanger, S. 159–184.
- Rheinberger, Hans-Jörg (2001): *Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*, Göttingen: Wallstein.
- Sachs-Hombach, Klaus (2003): *Das Bild als kommunikatives Medium. Elemente einer allgemeinen Bildwissenschaft*, Köln: Herbert von Haller.
- Saxl, Otilia (2002): »Real Nanotechnology versus Science Fiction«. *Venture Capital Magazine* 3: 10.
- Schummer, Joachim (2004): »Societal and Ethical Implications of Nanotechnology: Meanings, Interest Groups and Social Dynamics«. *Techné. Journal of the Society for Philosophy and Technology* 8: 56–87.
- Trautetter, Gerald (2000): »Tauchen im Nanokosmos«. *Der Spiegel* 14. April 2000: 168–174.
- Waters, Richard (2003): »Nanotech industry wary of Next Big Thing syndrome«. *Financial Times* 5. Dezember 2003: 15.
- Weingart, Peter (2001): *Die Stunde der Wahrheit? Zum Verhältnis der Wissenschaft zu Politik, Wirtschaft und Medien in der Wissensgesellschaft*, Weilerswist: Velbrück.
- Zechbauer, Ulrike (2003): »Szenario 2010 – Medizin. Der Ganzkörper-Check«. *Pictures of the Future. Zeitschrift für Forschung und Innovation* Frühjahr: 58–60.