

# Inhalt

---

## **I. Einleitung | 7**

## **II. Neue Technologien – alte Muster? | 39**

1. Nanovisionen und Technologiehypes | 39
2. Der Feynmanmythos | 42
3. Plädoyer für eine historische Betrachtung von Zukunftstechnologien | 46

## **III. Die Nanotechnologie als forschungspolitische Strategie | 49**

1. Die vergangene Zukunft der Mikroelektronik | 50
2. Die prekäre Situation der Grundlagenforschung in den 1990er Jahren | 64
3. Die Identifizierung einer Zukunftstechnologie | 71

## **IV. Die Entstehung nanotechnologischer Forschungsfelder in München | 91**

1. Von der Halbleiterphysik zur Nanoelektronik | 91
2. Das Feld der Nanowissenschaften | 116
3. Neue Formen der Interdisziplinarität? | 131

## **V. Molekulares Lego.**

### **Zur instrumentellen Praxis im Nanokosmos | 143**

1. Die Molekularstrahlepitaxie. Maßgeschneiderte Strukturen und Quanteneffekte | 144
2. Das Rastertunnelmikroskop – ein Nanowerkzeug? | 152
3. Nanoorigami. DNA als Forschungsobjekt der Nanobiotechnologie | 164

## **VI. Medialisierungsstrategien | 175**

1. Das fragile Verhältnis von Wissenschaft und Öffentlichkeit | 176
2. Die Defuturisierung einer Zukunftstechnologie | 180
3. Nanohype: Zwischen Skepsis und Neuorientierung | 188

## **VII. Spin-Off.**

### **Innovationsprozesse im universitären Kontext | 199**

1. Triple-Helix, Netze und Innovationskulturen | 200
2. Eine neue universitäre Gründerkultur? | 205
3. Widerstände, Grenzen, Scheitern | 209

### **VII. Fazit: Eine neue Wissenschaftskultur der Nanotechnologie? | 215**

## **IX. Anhang | 221**

1. Glossar | 221
2. Interviews | 229
3. Literatur | 230
4. Abbildungsverzeichnis | 263
5. Abkürzungsverzeichnis | 264
6. Dank | 266
7. Register | 267

# I. Einleitung

---

„Ois is Nano, ois“

München hat sich, so die Süddeutsche Zeitung, still und heimlich „zur deutschen Hauptstadt der Nanotechnologie gewandelt“.<sup>1</sup> Kann man damit aber tatsächlich „alles“ [bayer. „ois“] in Verbindung bringen, wie dies der Kabarettist Gerhard Polt nach einem Treffen mit dem Münchner Biophysiker und Nanowissenschaftler Hermann Gaub verwundert feststellte? Folgt man den populären Darstellungen dieser Zukunftstechnologie, so öffnet sich auf der Ebene des Nanokosmos eine gleichermaßen verheißungsvolle wie schwer zugängliche Welt der Atome und Moleküle.<sup>2</sup> Nanotechnologie findet demnach in einem molekularen Zwischenbereich statt, in dem sich die Grenzen zwischen Chemie, Biologie und Physik verwischen und Bausteine für radikal neue Technologien entwickelt werden. Mit der experimentellen Kontrolle und Manipulation der belebten und unbelebten Natur geht die Hoffnung einher, neue, maßgeschneiderte technische Anwendungen, z.B. im Bereich der Elektronik oder Medizin, zu entwickeln. Wenn es gelingt, die Grundbausteine der Natur nicht nur zu entschlüsseln, sondern auch technisch zu nutzen und beliebig neu zu programmieren, würden Kernprobleme der Menschheit zur Lösung kommen, so der amerikanische Computerwissenschaftler und visionäre Fürsprecher einer molekularen Nanotechnologie Ralph Merkle im Jahr 2001.

„In den nächsten Jahrzehnten wird man mithilfe der Nanotechnologie Supercomputer bauen können, die so klein sind, dass sie sich mit dem Lichtmikroskop kaum erkennen lassen. Ganze Flotten medizinischer Nanoroboter, die kleiner als eine Zelle sind, werden dann durch unsere Körper kreuzen und verstopfte Arterien reinigen und die Verheerungen des Alters rückgängig machen. [...] Kostengünstige Materialien mit der fünfzigfachen Festigkeit der heute im Raketenbau eingesetzten Werkstoffe werden uns den Weg in den Weltraum öffnen, so dass ein Urlaub auf dem Mond nicht teurer ist als eine Reise

---

**1** | Vgl. Debabant, Serge: Ois is nano. In: Süddeutsche Zeitung – Beilage München Magazin vom 29./30.9.2007, S. 28; Kehrt, Christian; Schüßler, Peter: „Ois is nano“. Nanowissenschaftliche Forschungskontexte in historischer und soziologischer Perspektive. In: Kultur und Technik (2010), H.1, S. 22-24.

**2** | Vgl. z.B. Spektrum der Wissenschaft Spezial 2001/2: Nanotechnologie; Spektrum der Wissenschaft Spezial 2012/1: Einblicke in die Nanowelt; Mansoori, Ali G. u.a. (Hg.): Molecular Building Blocks for Nanotechnology. From Diamondoids to Nanoscale. Dordrecht u.a. 2007; Silva, Gabriel A.; Parpura, Vladimir (Hg.): Nanotechnology for Biology and Medicine. At the Building Block Level. Dordrecht 2012.

zum Südpol. Und der Traum, dass alle Menschen der Erde in materiellem Überfluss leben, könnte Wirklichkeit werden.“<sup>3</sup>

Solch überbordende Erwartungen sind nicht neu, sondern gehören zur Begleitmusik neuer Technologien im 20. Jahrhundert.<sup>4</sup> Allerdings ist die öffentliche Betonung einer größeren Anwendungsorientierung und revolutionärer technischer Veränderungen nicht automatisch gleichzusetzen mit dem Forschungsalltag im Labor. Ein genauer Blick auf die Forschungskontexte und die im Labor konstituierten Nanoobjekte ist unerlässlich, wenn man nicht allein auf der Ebene der medial produzierten Zukunftsvisionen stehen bleiben möchte. Solch ein mittlerweile in der Wissenschaftsforschung etablierter Ansatz erlaubt, die jeweiligen Forschungs- und Innovationskulturen der Nanotechnologie im Rahmen einer Fallstudie genauer zu untersuchen.<sup>5</sup> Die Studie ist im Bereich der Science und Technology Studies zu verorten und richtet sich an ein interdisziplinäres Publikum, das sich mit der gesellschaftlichen Bedeutung neuer Technologien befasst. Im Fokus stehen die Herausbildung nanotechnologischer Forschungsfelder und die Frage nach den Spezifika dieser Wissenschaftskulturen. Joachim Schummer spricht in diesem Zusammenhang von einem gesellschaftlichen „Spiel mit Grenzen“, die verschoben, neu definiert und ausgehandelt werden.<sup>6</sup> Peter Biniok sieht in der bastelnd spielerischen Bricolage einen Grundzug nanotechnologischer Forschungskulturen.<sup>7</sup>

Es wird im Folgenden näher zu sehen sein, welche experimentellen Praktiken und gesellschaftlichen Spiele sich mit der nanotechnologischen Forschung verbinden und inwiefern sich am Beispiel der Nanotechnologie ein grundlegen-

---

**3** | Merkle, Ralph C.: Schwerter zu Nanowaffen. In: Schirmmacher, Frank (Hg.): Die Darwin AG. Wie Nanotechnologie, Biotechnologie und Computer den neuen Menschen träumen. Köln 2001, S. 181.

**4** | Kehrt, Christian; Schübler, Peter; Weitze, Marc-Denis: Einleitung. Neue Technologien in der Gesellschaft. In: Kehrt/Schübler/Weitze, Neue Technologien in der Gesellschaft, S. 12-25.

**5** | Vgl. Knorr-Cetina, Karin: Die Fabrikation von Erkenntnis. Zur Anthropologie der Naturwissenschaft. Frankfurt 1991; Knorr-Cetina, Karin: Wissenskulturen. Ein Vergleich naturwissenschaftlicher Wissensformen. Frankfurt 2002, S. 11; Rheinberger, Hans-Jörg: Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas. Frankfurt 2006; Vgl. Latour, Bruno: Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers through Society. Milton Keynes 1987; Latour, Bruno; Woolgar, Steve: Laboratory Life. The Construction of Scientific Facts. Princeton, NJ 1986; Hacking, Ian: Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science. Cambridge, MA 1983; Pickering, Andrew: Science as Practice and Culture. Chicago 1994.

**6** | Vgl. Schummer, Joachim: Nanotechnologie. Spiele mit Grenzen. Frankfurt 2009, S. 14.

**7** | Vgl. Biniok, Peter: Wissenschaft als Bricolage. Die soziale Konstruktion der Schweizer Nanowissenschaften. Diss. Universität Luzern, 2012. Bielefeld 2013.

der Wandel der Wissenschaftskulturen nachvollziehen lässt.<sup>8</sup> Vor dem Hintergrund einer zunehmend komplexeren und heterogeneren Wissenschaftslandschaft bietet die Betrachtung einzelner Akteure und Forschungskontexte neue Erkenntnismöglichkeiten über das nur schwer verallgemeinerbare Verhältnis von Wissenschaft und Gesellschaft. Von besonderem Interesse ist hierbei, wie Wissenschaftler<sup>9</sup> auf lokaler Ebene den Nanodiskurs gestalten und welche Motive und Strategien sie dabei verfolgen. Handelt es sich um neue Formen der Wissensproduktion, die sich durch disziplinenübergreifende Kooperationen sowie die enge Rückbindung an gesellschaftliche Problemstellungen erklären, oder lassen sich Kontinuitäten zu bereits bestehenden, älteren Forschungs- und Innovationskulturen feststellen? Diese Fragen sind nicht allein durch die Betrachtung allgemeiner Medialisierungsprozesse und forschungspolitischer Diskurse oder gar eines einheitlichen wissenschaftlichen Feldes zu beantworten, sondern verlangen die genauere Analyse nanotechnologischer Forschungskontexte und Schnittstellen.<sup>10</sup> Angesichts der engen Wechselwirkungen von Wissenschaft, Medien und Politik und den damit einhergehenden teilweise schwindelerregenden Grenzverschiebungen<sup>11</sup> ist deshalb ein Zugang erforderlich, der lokale Forschungskontexte und Akteure in allgemeinere makrostrukturelle, politische, historische und mediale Zusammenhänge einbindet.<sup>12</sup>

**8** | Vgl. zum Wandel der Wissenschaftskulturen: Nordmann, Alfred: Im Blickwinkel der Technik: Neue Verhältnisse von Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte. In: *Berichte für Wissenschaftsgeschichte* 35 (2012), S. 200-2016; Nordmann, Alfred: *The Age of Technoscience*. In: Nordmann/Radder/Schiemann, *Science Transformed?*, S. 19-30; Forman, Paul: *The Primacy of Science in Modernity, of Technology in Postmodernity, and of Ideology in the History of Technology*. In: *History and Technology* 23 (2007), H.1, S. 1-152; Weingart, Peter: *Neue Formen der Wissensproduktion. Fakt, Fiktion und Mode*. In: *TA-Datenbank-Nachrichten* 8 (1999) H. 3/4, S. 48-57; Gibbons, Michael u.a.: *The New Production of Knowledge*. London 1994; Shapin, Steven: *The Scientific Life. A Moral History of Late Modern Vocation*. Chicago, London 2008.

**9** | Im Folgenden wird aus Gründen der sprachlichen Vereinfachung nur die männliche Form verwendet. Es sind jedoch stets Personen männlichen und weiblichen Geschlechts gleichermaßen gemeint.

**10** | Nordmann, Alfred; Schummer, Joachim; Schwarz, Astrid (Hg.): *Nanotechnologien im Kontext*. Berlin 2006, S. vii.

**11** | Vgl. Schummer, *Spiele mit Grenzen*; Bensaude-Vincent, Bernadette: *Les Vertiges de la Technoscience. Façonner le Monde Atome par Atome*. Paris 2009.

**12** | Einen solchen, über die Science and Technology Studies hinausgehenden, stärker die Makroebene und auch historische Dimensionen berücksichtigenden Ansatz hat jüngst Dominique Pestre eingefordert. Pestre, Dominique: *À Contre-Science. Politique et Savoirs des Sociétés Contemporaines*. Paris 2013, S. 7-14 u. 193-219; Vgl. Rheinberger, Hans-Jörg: *Rezente Wissenschaft und ihre Erforschung. Das Beispiel Molekularbiologie*. In: *Medizinhistorisches Journal* 41 (2006), S. 187-199; Biniok, *Wissenschaft als Bricolage*, S. 79.

Der Titel ‚Mit Molekülen spielen‘ ist vor dem Hintergrund einer zunehmenden Verschränkung von Wissenschaft, Politik und Medien und der Forderung nach einer größeren Anwendungsorientierung und Nützlichkeit der universitären Forschung zu verstehen.<sup>13</sup> Der auf der Ebene des öffentlichen Nanotechnologiediskurses aus strategischen Gründen betonte Technikbezug, so die These dieser Studie, ermöglicht jedoch ein weiterhin erkenntnisoffenes und freies Experimentieren, das nicht notwendigerweise auf Innovationsprozesse bezogen ist. Gerd Binnig, der mit der Erfindung des *Rastertunnel- und Rasterkraftmikroskops* neue Horizonte für Experimente mit einzelnen Atomen und Molekülen im Nanometerbereich eröffnete, hat auf das Spielen als zentralem Moment kreativer Prozesse hingewiesen und damit das Selbstverständnis einer letztlich unabhängig von gesellschaftlichen und technischen Zwängen agierenden Wissenschaftskultur zum Ausdruck gebracht.<sup>14</sup> Das im Rahmen dieser Studie untersuchte experimentelle Forschen und Spielen mit Molekülen bedeutet aber keinesfalls, dass die Wissenschaftler im Elfenbeinturm saßen und unabhängig von gesellschaftlichen Einflüssen, politischen Machtkalkülen oder medialen Aufmerksamkeitsanforderungen agierten. Die Verwendung der Spiel-Metaphorik ist deshalb durchaus ambivalent und kritisch zu betrachten. Einerseits distanziert sich das freie Spiel von unmittelbar technischen Zwecksetzungen und ökonomischen Kalkülen.<sup>15</sup> Andererseits nutzen Wissenschaftler diese Metaphorik, um das innovative Potenzial ihrer Arbeit zu

**13** | Über den Wandel der Universitäten und ihre teilweise prekäre Lage wurde in den letzten Jahren viel und kontrovers gerade auch von wissenschaftssoziologischer Seite diskutiert. Vgl. Weingart, Peter: *The End of Academia? The Social Reorganization of Knowledge Production*. In: Orsi, Andrea; Monaco, Battaglini; Roversi, Fabio (Hg.): *The University within the Research System – An International Comparison. Science and Society. Constitutional Problems. The National Experiences*. Baden-Baden 1991, S. 31-44; Mittelstraß, Jürgen: *Coping with Crisis. The German Universities. Their Future Role in Teaching and Research*. In: Krull/Meyer-Krahmer, *Science and Technology in Germany*, S. 101-110; Krücken, Georg: *Towards a Multiversity? Universities between Global Trends and National Traditions*. In: Krücken, Georg; Kosmützky, Anna; Torca, Marc (Hg.): *Towards a Multiversity? Universities between Global Trends and National Traditions*. Bielefeld 2007, S. 7-16; Schimank, Uwe; Stucke, Andreas (Hg.): *Coping with Trouble. How Science Reacts to Political Disturbances of Research Conditions*. Frankfurt, New York 1994.

**14** | Binnig, Gerd: *Aus dem Nichts. Über die Kreativität von Natur und Mensch*. München 1989. Vgl. zum Motiv von Spiel und Spaß als Teil des Selbstbildes amerikanischer Physiker: Forman, Paul: *Social Niche and Self-Image of the American Scientist*. In: De Maria, Michelangelo; Grilli, Mario; Sebastiani, Fabio (Hg.): *Proceedings of the International Conference on the Restructuring of the Physical Sciences in Europe and the United States 1945-1960*. Singapore u.a. 1989, S. 104.

**15** | Vgl. zum Verhältnis von Technik und Spiel: Poser, Stefan; Zachmann, Karin (Hg.): *Homo faber ludens. Geschichten zu Wechselbeziehungen von Technik und Spiel*. Frankfurt u.a. 2003; Poser,

unterstreichen. In dieser Lesart korrespondiert dem Spielen mit Atomen und Molekülen eine Kernvision der Nanotechnologie, wonach die experimentelle Laborforschung die molekularen Bausteine für zukünftige Technologien erprobt, manipuliert und gestaltet.<sup>16</sup>

## Definitionen der Nanotechnologie

Die Frage, was Nanotechnologie ist, wird in vielen Studien zu dieser neuen Technologie vorangestellt, weist aber eher auf die Problematik einer nicht hinreichend präzisen Definition dieses Forschungs- und Technologiefeldes hin. Viele Begleitforscher tragen zudem nicht wirklich zur Klärung dieses Begriffs bzw. zur Abgrenzung und genaueren Charakterisierung bei, wenn sie die objektzentrierten Definitionen der Akteure übernehmen, ohne nach den damit einhergehenden Diskursen, forschungspolitischen Strategien und der sozialen Konstruktion dieses Forschungs- und Innovationsfeldes zu fragen.<sup>17</sup> Eine der frühen Definitionen hat Gerd Bachmann vom VDI-Technologiezentrum auf der Basis von Expertengesprächen in der ersten Hälfte der 1990er Jahre erstellt.<sup>18</sup> Mit dem Übergang in den molekularen und atomaren Bereich treten demnach quantenphysikalische Phänomene in den Horizont der Technikentwicklung.<sup>19</sup> Mit der Unterscheidung zwischen *Top-down*- und *Bottom-up*-Methoden bezieht sich der VDI-Technologieanalyst zudem auf zwei wesentliche Narrationslinien, die zur Definition der Nanotechnologie herangezogen werden. Während der

---

Stefan: Spiel mit Technik seit der Industrialisierung (Habilitation in Vorbereitung); Huizinga, Johan: Homo ludens. Vom Ursprung der Kultur im Spiel (Erstausgabe 1939). Reinbek 2009.

**16** | Vgl. z.B. Wiedeking, Anette: Im Legoland der Moleküle: Interview Prof. Heckl. In: Süddeutsche Zeitung vom 6.7.2004.

**17** | Dies trifft vor allem auf Forschungsarbeiten zu, die sich primär auf bibliometrische Daten verlassen und auf dieser Basis Innovationsstudien „der Nanotechnologie“ erstellen. Vgl. Stiller, Olaf: Innovationsdynamik in der zweiten industriellen Revolution. Marburg 2006; Heinze, Thomas: Die Kopplung von Wissenschaft und Wirtschaft. Das Beispiel der Nanotechnologie. Frankfurt 2006; Bütterlin, Veit: Die Ökonomie der Nanotechnologie. Tübingen 2007; Grimm, Vera: Nanotechnologie, Innovationsmotor für den Standort Deutschland. Baden-Baden 2011; Klocke, Björn: Unternehmens- und Netzwerkentwicklung in High-Tech-Sektoren. Wiesbaden, Berlin 2004.

**18** | Bachmann, Gerd: Nanotechnologie. Technologieanalyse. Im Auftrag des BMFT. Düsseldorf 1994, S. 7-9.

**19** | Dies mache neuartige Herangehensweisen und Verfahren notwendig und verlange ein hohes wissenschaftliches Knowhow, so dass die Anfänge dieser Technologie in der Grundlagenforschung, insbesondere im Bereich der Festkörperphysik und -chemie liegen. Gerd Bachmann macht somit den Eintritt in den Nanokosmos von der Verringerung der Strukturgrößen mikroelektronischer Bauelemente abhängig, die dann von neuen physikalischen Phänomenen wie etwa dem quantenmechanischen Tunneleffekt bestimmt werden. Vgl. Bachmann, Nanotechnologie, S. 8.

*Top-down*-Ansatz als konsequente Fortsetzung bereits bestehender Entwicklungen im Bereich der Chipfertigung zu immer kleineren Strukturgrößen anzusehen ist, gilt der *Bottom-up*-Ansatz als ein neuer verheißungsvoller Weg, in Zukunft molekular kleinste Architekturen, Bausteine und Technologien mithilfe von Selbstorganisationsprozessen der Materie herzustellen.

Was jedoch genauer damit bezeichnet werden kann und welche Forschungskontexte, Methoden, Objekte und Ziele sich damit konkret verbinden lassen, bleibt dennoch unklar.<sup>20</sup> Der Begriff ist vage und nicht in der Lage, ein wissenschaftliches Feld zu umreißen oder gar konkrete Branchen, Disziplinen oder Technologien abzugrenzen. Nanotechnologie zeichnet sich durch ihre Unbestimmtheit und flexible Interpretierbarkeit aus.<sup>21</sup> Diese Problematik hat die Karlsruher Studiengruppe für Technikfolgenabschätzung in ihrer systematischen Analyse verschiedener Definitionen aufgezeigt.<sup>22</sup> Joachim Schummer kritisiert ebenfalls die mangelnde begriffliche Schärfe.<sup>23</sup> Auch Alfred Nordmann betont, dass die Annahme einer einheitlichen Nanotechnologie angesichts der sehr heterogenen Forschungsfelder unzutreffend sei und sich primär politischen Motiven verdanke.<sup>24</sup> Aus diesem Grund plädiert der Darmstädter Wissenschaftsphilosoph dafür, nicht von einer, sondern vielmehr von den Nanotechnologien zu sprechen.<sup>25</sup>

Freilich bietet gerade die inhaltliche Unbestimmtheit des Begriffes in forschungspolitischer und gesellschaftlicher Hinsicht auch Vorteile: „Ein breiter Nanotechnologiebegriff ist zentral, um Ideen und Visionen zu erzeugen und das Interesse der Öffentlichkeit, von Forschung, Industrie und Investoren zu

---

**20** | Decker, Michael: Eine Definition von Nanotechnologie: Erster Schritt für ein interdisziplinäres Nanotechnology Assessment. In: Nordmann/Schummer/Schwarz, Nanotechnologien im Kontext, S. 42.

**21** | Schaper-Rinkel, Petra: Globale und verbindliche Standards. In: Politische Ökologie (2006), S. 53.

**22** | Decker, Michael; Fiedeler, Ulrich; Fleischer, Torsten: „Ich sehe was, was Du nicht siehst“. Zur Definition von Nanotechnologie. In: Technikfolgenabschätzung (2004) H. 2, S. 10-16; Decker, Eine Definition von Nanotechnologie.

**23** | Schummer, Joachim: Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, and Patterns of Research Collaboration in Nanoscience and Nanotechnology. In: Scientometrics 59 (2004) H. 3, S. 426; Schummer, Joachim: Interdisciplinary Issues in Nanoscale Research. In: Baird/Nordmann/Schummer, Discovering the Nanoscale, S. 15.

**24** | Nordmann, Alfred: Die Welt als Baukastensystem. Denkmuster hinter der Nanotechnologie. In: Politische Ökologie 101 (2006) H. 9, S. 20.

**25** | Ebd., S. 23; vgl. Lösch, Andreas: Visuelle Defuturisierung und Ökonomisierung populärer Diskurse zur Nanotechnologie. In: Hüppauf, Bernd; Weingart, Peter (Hg.): Frosch und Frankenstein. Bilder als Medium der Popularisierung von Wissenschaft. Bielefeld 2009, S. 256.



wecken.<sup>26</sup> Nicht die formale Definition ist somit entscheidend, sondern der visionäre Grundzug einer verheißungsvollen Zukunftstechnologie und die damit transportierten politischen Interessen, Strategien und neuen Kooperationsmöglichkeiten. Die Interpretationsoffenheit und Flexibilität des Begriffes eröffnet in Verbindung mit der starken symbolischen Aufladung als Schlüsseltechnologie zweifellos neue forschungspolitische Handlungsmöglichkeiten und Strategien.<sup>27</sup> Sie erlauben einer großen und nahezu beliebigen Zahl unterschiedlicher Akteure am Nanodiskurs und an den damit einhergehenden neuen Ressourcen und Handlungschancen teilzuhaben – von der universitären Grundlagenforschung, über kleine und mittlere Unternehmen bis hin zu multinationalen Großkonzernen. Da sehr heterogene wissenschaftliche Felder und Objekte mit diesem Term bezeichnet werden, handelt es sich nicht um einen festen Begriff oder gar eine Definition, sondern um ein vermittelndes und grenzüberschreitendes Brückenkonzept und Bindeglied, das verschiedene Akteure vernetzt und strategisch miteinander in Bezug bringt.<sup>28</sup> Die Frage, was Nanotechnologie ist, lässt sich dementsprechend nicht über objekt- oder instrumentenzentrierte Definitionen beantworten. Vielmehr gilt es, die jeweilige Wahrnehmung und Bedeutung dieses Forschungs- und Innovationsfeldes durch die Fokussierung auf konkrete Kontexte und Akteure, die sich mit der Nanotechnologie identifizieren, genauer zu untersuchen.

## Mode 2, Technoscience oder Strategic Science?

Die Frage nach den Wissenschaftskulturen und Strategien der Nanotechnologie berührt im Kern das ebenso spannungsvolle wie schwer zu bestimmende Verhältnis von Technik und Wissenschaft und die mehrfachen Wendungen,

---

**26** | Schaper-Rinkel, Globale und verbindliche Standards, S. 54.

**27** | McCray, Patrick: Will Small Be Beautiful? Making Policies for our Nanotech Future. In: *History and Technology* (2006) H. 2, S. 178. Vgl. Selin, Cynthia: Expectations and the Emergence of Nanotechnology. In: *Science, Technology and Human Values* (2007), S. 196-219.

**28** | Vgl. Leigh Star, Susan: This is Not a Boundary Object. Reflections on the Origin of a Concept. In: *Science Technology and Human Values* 35 (2010), S. 560-617; Galison, Peter: *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*. Chicago 1997, S. 781-844; Kehrt, Christian; Schüßler, Peter: „Nanoscience is 100 Years Old“. The Defensive Appropriation of the Nanotechnology Discourse within the Disciplinary Boundaries of Crystallography. In: Kaiser u.a. (Hg.): *Governing Future Technologies. Nanotechnology and the Rise of an Assessment Regime*. Dordrecht 2011 (*Sociology of the Sciences Yearbook*, Bd. 27), S. 38; Wullweber, Joscha: Nanotechnology – an Empty Signifier à Venir? A Delineation of a Techno-Socio-Economical Innovation Strategy. In: *Science, Technology & Innovation Studies* (2008) H. 1, S. 28-45.

Trennungen und Verbindungen, die dieses Begriffspaar genommen hat.<sup>29</sup> So hat der Wissenschaftshistoriker Paul Forman einen epochalen Wandel vom Primat der Naturwissenschaften hin zur Vormachtstellung der Technik diagnostiziert. Diesen datiert er auf die 1980er Jahre, als die sogenannte Postmoderne eine neue Orientierung an Technik auch im Bereich der Naturwissenschaften zeitigte.<sup>30</sup> Forman zielt mit dieser vieldiskutierten These auf eine eher polemisch geführte und um Deutungshoheit bemühte Binnendiskussion zwischen Technik- und Wissenschaftsgeschichte. Sein Postulat einer zeitgeschichtlichen Zäsur in den 1980er Jahren sowie der Hinweis auf die „ideologischen Dimensionen“ von Wissenschaft und Technik sind dennoch für eine gegenwartsorientierte Wissenschafts- und Technikgeschichte relevant und lassen sich am Beispiel der Nanotechnologie überprüfen.

Auch im Bereich der Wissenschafts- und Techniksoziologie gab es eine intensive Debatte um die Wechselwirkung von Staat, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Die gesellschaftliche Nützlichkeit der Wissenschaften und das Verhältnis von anwendungs- versus grundlagenwissenschaftlich orientierter Forschung wurden bereits in den langen 1970er Jahren intensiv diskutiert.<sup>31</sup> Wissenschaftlicher Wandel, so jedenfalls der Tenor vieler gegenwartsdiagnostischer Theorien zur Finalisierung der Wissenschaften, Mode 2, Triple Helix, National Innovation Systems, Post Normal Science, Strategic Science oder Technoscience etc. findet in enger Rückkopplung mit Politik, Wirtschaft, Medien und Gesellschaft statt.<sup>32</sup> Schwerer zu beantworten ist allerdings die Frage, worin genau dieser Wandel bestehe, wie er empirisch zu belegen ist und ob diese eher idealtypischen Annahmen zum historischen Wandel des Wissen-

---

**29** | Ich danke Martina Heßler für den klärenden Hinweis, dass es für die Betrachtung des Verhältnisses von Wissenschaft und Technik zwei idealtypisch zu unterscheidende Figuren gibt, die entweder von der untrennbaren Verquickung und Identität von Wissenschaft und Technik oder von ihrer Unterscheidbarkeit und Trennung ausgehen.

**30** | Vgl. Forman, *The Primacy of Science in Modernity*, S. 1.

**31** | Die gesellschaftliche Orientierung der Wissenschaften wurde bereits mit der Finalisierungsthese von Böhme, Krohn und van der Daele in den 1970er Jahren am Max-Planck-Institut zur Erforschung der Lebensbedingungen der wissenschaftlich-technischen Welt in Starnberg behandelt. Vgl. Poser, Hans: Vorwort. In: Hubig, Christoph; von Rhaden, Wolfert (Hg.): *Konsequenzen der Wissenschaftstheorie*. Berlin, New York 1978, S. vii; Böhme, Gernot (Hg.): *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts (=Starnberger Studien, Bd. 1)*. Frankfurt 1978.

**32** | Vgl. Nordmann, Alfred; Radder, Hans; Schiemann, Gregor: *Science after the End of Science. An Introduction to the „Epochal Break Thesis“*. In: Nordmann/Radder/Schiemann, *Science Transformed?*, S. 1-15.

schafts- und Innovationssystems tatsächlich zutreffen bzw. welche Kontinuitäten auch weiterhin bestehen.<sup>33</sup>

Einer der in diesem gegenwartsdiagnostischen Zusammenhang intensiv diskutierten und kritisierten Ansätze ist die Theorie von Helga Nowotny und Michal Gibbons über den Wandel der Wissensproduktion in Richtung einer stärker transdisziplinären, gesellschafts- und nutzenorientierten Forschungsorganisation.<sup>34</sup> Demnach ließe sich Mode 2 durch die größere Anwendungsorientierung, Transdisziplinarität, Heterogenität der Akteure, ihre Bezogenheit auf gesellschaftliche Problemstellungen und den Verzicht auf das für die Wahrung wissenschaftlicher Qualitätsstandards entscheidende Peer Review Verfahren charakterisieren:

*Abbildung 1: Unterschiede zwischen Mode 1 und Mode 2, nach Hessels und van Lente.<sup>35</sup>*

Mode 1	Mode 2
Academic context	Context of application
Disciplinary	Transdisciplinary
Homogeneity	Heterogeneity
Autonomy	Reflexivity/social accountability
Peer Review	Novel quality control

Kritisiert wird an der Mode 2-These, dass sie nicht hinreichend empirisch belegt und normativ aufgeladen und der Übergang von Mode 1 zu Mode 2 historisch nicht gerechtfertigt seien. Auch die Grenzen zwischen den Disziplinen sowie zwischen Technik und Wissenschaft lösten sich nicht einfach auf. Vielmehr sei ein genauer Blick auf die Unterschiede und verschiedenen Ebenen insbesondere zwischen der Programmatik und der konkreten Forschungspraxis notwendig.<sup>36</sup> Dennoch stellt Harro van Lente fest, dass die Behauptung eines signifikanten Wandels der Wissenschaften von vielen Autoren, auch den Kritikern der Mode 2-These, geteilt wird.<sup>37</sup> Peter Weingart und Terry Shinn gehen davon aus, dass eine zunehmend engere Kopplung zwischen Wissen-

**33** | Vgl. Stoff, Heiko: „Interesting False Problems“. Technoscience und Geschichte. In: Weber, Interdisziplinierung, S. 113-142.

**34** | Gibbons, Michael u.a.: The New Production of Knowledge, S. 1. Vgl. Nowotny, Helga; Scott, Peter; Gibbons, Michael: Re-thinking Science. Knowledge and the Public in an Age of Uncertainty. Cambridge 2001.

**35** | Hessels, Laurens K.; Lente, Harro van: Re-thinking New Knowledge Production. A Literature Review and Research Agenda. In: Research Policy (2008), S. 741.

**36** | Ebd., S. 755.

**37** | Ebd., S. 756.

schaft und Gesellschaft bestehe.<sup>38</sup> Dass ein Wandel in der Forschungsorganisation und Forschungspolitik stattfindet und die verschiedenen Sphären von Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sich neu justieren, ist eine Grundannahme, die sich in vielen Wissenschaftstheorien wiederfindet.<sup>39</sup> Entscheidend allerdings ist die Frage, wie dieser Transformationsprozess in den jeweiligen lokalen, nationalen und historischen Zusammenhängen sich gestaltet, auf welchen Faktoren er basiert und welche Strategien die verschiedenen Akteursgruppen verfolgen. So gehe ich davon aus, dass die verschiedenen Ebenen der Forschungspraxis und Forschungspolitik analytisch zu trennen und auch scheinbar transdisziplinäre Forschungsprogramme de facto noch stark disziplinär strukturiert sind.<sup>40</sup> Eine vorschnelle Verabschiedung akademischer Forschungstraditionen, Institutionen und Wissensformen, wie dies der Übergang zur Mode-2-Wissenschaft suggeriert, erscheint jedenfalls fragwürdig, da sich bei genauerer Betrachtung zentrale Charakteristika der Mode-1-Wissenschaft auch im Falle der Nanotechnologie nachweisen lassen. Mit Weingart und Shinn ist zu betonen, dass weniger die Grenzauflösung und Verwischung als vielmehr die konkreten Verschiebungen, Neudefinitionen und Übergänge bei gleichzeitigem Weiterbestehen herkömmlicher disziplinärer Muster und traditioneller Forschungsansätze zu berücksichtigen sind.<sup>41</sup>

Vor allem das Verhältnis von Wissenschaft und Technik ist hierbei näher zu betrachten. Wissenschaft findet in einem Spannungsverhältnis zwischen reiner Erkenntnisproduktion und Technikentwicklung statt, das offensichtlich weder mit Begrifflichkeiten der Ingenieurwissenschaften noch der Naturwissenschaften adäquat erfasst werden kann: „[...] conventional terms – such as applied science, technological research, or research and development – are inadequate.“<sup>42</sup> Der holländische Wissenschafts- und Innovationsforscher Arie Rip schlägt deshalb vor, ganz auf die Unterscheidung von Wissenschaft und Technik zu verzichten.<sup>43</sup> Auch allzu einfache lineare Innovationsmodelle, wonach aus der reinen Grundlagenforschung dann in der weiteren Entwicklung

---

**38** | Weingart, *Neue Formen der Wissensproduktion*, S. 48-57; Shinn, Terry: *The Triple Helix and New Production of Knowledge. Prepackaged Thinking on Science and Technology*. In: *Social Studies of Science* (2002), S. 103-116.

**39** | Nordmann/Radder/Schiemann, *Science after the End of Science*, S. 2-5.

**40** | Weingart, *Neue Formen der Wissensproduktion*, S. 52.

**41** | Vgl. Shinn, *The Triple Helix and New Production of Knowledge*, S. 612.

**42** | Gibbons u.a., *The New Production of Knowledge*, S. 2.

**43** | Rip, Arie: *Science and Technology as Dancing Partners*. In: Kroes, Peter; Bakker, Martijn (Hg.): *Technological Development and Science in the Industrial Age*. Dordrecht 1992 (Boston Studies in the Philosophy of Science, Bd. 144), S. 257.

neue Technologien entstehen, treffen bei näherer Betrachtung der komplexen, vielschichtigen und konfliktreichen Innovationsprozesse nicht zu.<sup>44</sup>

Die Notwendigkeit einer „stärker technisch pointierten Sichtweise naturwissenschaftlicher Forschung“ und die damit einhergehenden epistemologischen Fragen im Spannungsfeld zwischen Laborpraxis und Technikentwicklung hat Bernhard Irrgang bereits am Beispiel der Biotechnologie aufgezeigt.<sup>45</sup> Diese Frage nach der Rolle der Technik bei der Erkenntnis und Gestaltung molekularer Objekte lässt sich auch auf die Nanotechnologie übertragen. Irrgang spricht von einer „Technologisierung der Forschung“, um jenen signifikant neuen Status der Technik zu berücksichtigen, der bereits im Modus der Grundlagenforschung nicht mehr von Wissenschaft zu trennen sei. Mit den bisherigen Begrifflichkeiten der „angewandten Forschung“ oder der „Ingenieurwissenschaften“ ließe sich diese neue Forschungskultur nicht mehr adäquat fassen. Ganz ähnlich argumentiert auch Alfred Nordmann mit seiner Vorstellung von Technoscience. Nanotechnologie erweist sich demnach als eine Technoscience, in der es weniger um Erkenntnisproduktion im klassischen Sinne der Theoriefindung und Hypothesenprüfung geht als vielmehr um die Manipulation und Herstellung hybrider Objekte und die technologische Gestaltung von Möglichkeitsräumen:

„Mit dem Begriff TechnoWissenschaft soll dagegen ausgedrückt werden, dass in ihr Technik und Wissenschaft untrennbar verbunden sind und nicht einmal mehr begrifflich auseinander gehalten werden können. Technowissenschaft ist also weder verwissenschaftlichte Technik noch technisch angewandte Wissenschaft. Es handelt sich hier um keine Disziplin oder Gattung wissenschaftlicher Arbeit, sondern um eine hybride Form und somit Symptom für einen grundlegenden Wandel der Wissenschaftskultur.“<sup>46</sup>

Zweifelsohne ist der Technikbezug nanotechnologischer Forschungskulturen genauer zu analysieren. Trifft Nordmanns These einer neuen Wissenschaftskultur zu, die weniger an theoretischen Fragestellungen und allgemeiner Naturerkenntnis, als vielmehr an technischen Fertigkeiten und einem ingenieurwissenschaftlichen Umgang mit Nanoobjekten interessiert ist? „Natur“ werde

---

**44** | Vgl. Bijker, Wiebe; Pinch, Trevor J: The Social Construction of Facts and Artefacts: or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. In: *Social Studies of Science* 14 (1984), S. 405.

**45** | Irrgang, Bernhard: Von der Mendelgenetik zur synthetischen Biologie. *Epistemologie der Laboratoriumspraxis Biotechnologie*. Dresden 2003, S. 7.

**46** | Nordmann, Alfred: Was ist TechnoWissenschaft? Zum Wandel der Wissenschaftskultur am Beispiel von Nanoforschung und Bionik. In: Rossmann, Torsten; Tropea, Cameron (Hg.): *Bionik. Aktuelle Forschungsergebnisse in Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaften*. Heidelberg u.a. 2005, S. 210.

nicht zuletzt aufgrund der Entwicklungen in den Natur- und Technikwissenschaften zunehmend fragwürdiger und werfe radikale epistemologische und ethische Fragen auf. Jutta Weber spricht von „umkämpften Bedeutungen“ und plädiert wie Irrgang und Nordmann für eine neue Epistemologie, Ontologie und Naturtheorie.<sup>47</sup> Dennoch stellt sich die Frage, inwiefern die recht vielschichtigen und teils wenig trennscharfen Theorien und Begrifflichkeiten der Technoscience helfen, die Kontexte der Nanoforschung zu verstehen. Auch Irrgang warnt davor, vorschnell beide – Wissenschaft und Technik – in einen Topf zu werfen: „Wissenschaft und Technik werden sich immer ähnlicher, möglicherweise zu Hybriden, aber eine Vereinigung hat bisher nicht stattgefunden, denn beide lassen sich nach wie vor unterscheiden.“<sup>48</sup> Eine genaue Betrachtung der jeweiligen Verwendungsweisen von „Wissenschaft“ und „Technik“ erscheint mir jedenfalls erforderlich, um die omnipräsente Technikmetaphorik des Nanodiskurses mit ihren durchaus unterschiedlichen Funktionen und Bedeutungen besser analysieren zu können. So ist stärker zwischen der experimentellen Forschungspraxis mit wissenschaftlichen Instrumenten und Nanoobjekten, ihrer symbolischen Aufladung als Zukunftstechnologie sowie konkreten Innovationsprozessen zu differenzieren.

Hans-Jörg Rheinbergers funktionale Unterscheidung zwischen epistemischen und technischen Dingen vermag in diesem Zusammenhang, die Frage nach der Bedeutung der Technik in nanotechnologischen Forschungskontexten zu schärfen.<sup>49</sup> Nach Rheinberger haben epistemische Dinge, die im Zentrum der Forschung stehen, einen genuin nicht-technischen Charakter. Dieser offene, neue Forschungsfragen generierende Grundzug wissenschaftlicher Forschung ist nicht mit Fragen der technischen Kontrolle und Wiederholbarkeit gleichzusetzen. In der Wissenschaft gehe es zwar darum, durch die technische Kontrolle der Experimentalsituation neue Zusammenhänge sichtbar zu machen. Technik ist hier jedoch die Bedingung der Möglichkeit dafür, dass epistemische Objekte zugänglich und im Labor untersucht werden können. Diesen kategorialen Unterschied verdeutlicht der Wissenschaftshistoriker durch einen Vergleich des Naturwissenschaftlers mit dem Ingenieur:

„Das Paradox löst sich dadurch, dass die Wechselwirkung zwischen epistemischen Dingen und technischen Bedingungen selbst in hohem Maße nicht technisch ist. Wissenschaftler sind vor allem ‚Bastler‘, ‚Bricoleure‘, weniger Ingenieure. In seinem nicht-tech-

---

**47** | Weber, Jutta: *Umkämpfte Bedeutungen. Natur im Zeitalter der Technoscience*. Bremen 2001, S. 94.

**48** | Irrgang, *Von der Mendelgenetik zur synthetischen Biologie*, S. 10.

**49** | Rheinberger, *Experimentalsysteme und epistemische Dinge*, S. 34.

nischen Charakter transzendiert das Experimentale Ensemble die Identitätsbedingungen der technischen Objekte, die es zusammenhalten.“<sup>50</sup>

Im Fall der Nanotechnologie verstehe ich die mit neuen experimentellen Techniken im Nanometerbereich mit einzelnen Molekülen und Atomen forschenden Wissenschaftler daher als „Bastler“ im Rheinbergerschen Sinne, die mit Molekülen spielen und diese manipulieren, um neue Forschungsfragen zu beantworten, die über die rein technische Kontrolle der Experimentalanordnung hinausreichen.<sup>51</sup> Damit sind zukünftige Technikentwicklungen ebenso wenig ausgeschlossen wie neue Erkenntnisse über basale Naturprozesse.<sup>52</sup> Im Übrigen trifft diese funktionale Unterscheidung Rheinbergers auch auf hybride, künstliche und sogar technische Systeme zu, so dass die von Vertretern der Technoscience angenommene Nichttrennbarkeit von Natur und Technik streng genommen kein Einwand gegen das für Experimentalkulturen charakteristische Zusammenspiel technischer und epistemischer Dinge darstellt.<sup>53</sup>

Um die Gleichzeitigkeit und offene Wechselwirkung von Grundlagenforschung und Anwendungsorientierung im Auge zu behalten, die für viele wissenschaftliche Teilbereiche im 19. und 20. Jahrhundert charakteristisch sind, schlägt Donald Stokes vor, von „anwendungsorientierter Grundlagenforschung“ zu sprechen.<sup>54</sup> Dieser idealtypische Doppelcharakter von Technikorientierung und grundlagenwissenschaftlicher Erkenntnisproduktion ist kein Widerspruch und verlangt auch nicht das Aufheben der Differenzierung zwischen Technik und Wissenschaft. Vielmehr geht es darum, diese Grenzen und ihre Verschiebungen genauer in den Blick zu nehmen.<sup>55</sup> Grundlagenforschung wird dabei als frei und primär auf neue Erkenntnisse abzielende Praxis

---

**50** | Ebd.

**51** | Vgl. Biniok, *Wissenschaft als Bricolage*.

**52** | Vgl. Schiemann, Gregor: *Dissolution of the Nature-Technology Dichotomy? Perspectives on Nanotechnology From the Viewpoint of an Everyday Understanding of Nature*. In: Baird/Nordmann/Schummer, *Nanoscale*, 2004, S. 209-213; Schiemann, Gregor: *Nanotechnology and Nature: On Two Criteria for Understanding their Relationship*. In: *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry* 11 (2005), S. 77-96. (Special Issue „Nanotech Challenges“); Schiemann, Gregor: *Kein Weg vorbei an der Natur: Natur als Gegenpart und Voraussetzung der Nanotechnologie*. In: Nordmann/Schummer/Schwarz, *Nanotechnologien im Kontext*, S. 115-130.

**53** | Vgl. Rheinberger, *Experimentalsysteme*, S. 33.

**54** | Stokes, Donald: *Pasteurs Quadrant. Basic Science and Technological Innovation*. Washington, DC 1997, S. 80.

**55** | Auch Thomas Heinze hat bei seiner bibliometrischen Analyse der Nanotechnologie diese in Anlehnung an Stokes als anwendungsorientierte Grundlagenforschung charakterisiert. Vgl. Heinze, *Die Kopplung von Wissenschaft und Wirtschaft*, S. 37.

definiert.<sup>56</sup> Diese analytische Differenzierung ist erforderlich, um z.B. den forschungspolitisch motivierten und daher strategischen und rhetorischen Technikbezug der Münchner Nanowissenschaftler von konkreten Innovationsprozessen und Technikentwicklungen unterscheiden zu können.<sup>57</sup> Angesichts des noch sehr jungen und im Stadium der Grundlagenforschung sich befindenden Feldes machen Innovationsstudien jedoch nur Sinn, wenn die Kontexte der universitären Forschung in den Blick genommen werden.<sup>58</sup>

Da im Rahmen der Münchner Fallstudie die „Exzellenz“ und gesellschaftliche Relevanz universitärer Grundlagenforschung zur Debatte stehen, ist das Konzept der „strategic science“, das solche gesellschaftlichen Relevanzkriterien berücksichtigt, besonders geeignet, die neuen Wissenschaftskulturen der Nanotechnologie zu beschreiben.<sup>59</sup> Das bereits in den 1980er Jahren von John Irvine und Ben R. Martin geprägte Konzept betont, dass sich die Grundlagenforschung stärker in Richtung gesellschaftlicher Problemstellungen orientiert. „Strategic Research: Basic Research carried out with the expectation that it will produce a broad base of knowledge likely to form the background to the solution of recognized current or future practical problems.“<sup>60</sup> Ein Indikator für strategische Forschung ist auch die seit den 1980er Jahren wachsende Bedeutung temporärer Forschungs- und Innovationszentren.<sup>61</sup> Strategisches Wissen, wie es in den hier untersuchten nanowissenschaftlichen Netzwerken produziert wird, bildet demnach ein Reservoir für Innovationen und gesellschaftlich definierte Aufgabenstellungen. Es bezieht sich auf Forschungsfelder, die mit großen gesellschaftlichen und forschungspolitischen Erwartungen einhergehen, wie dies bei der Nanotechnologie zweifelsohne der Fall ist. Im Unterschied zur Mode 2-Theorie werden aber wesentliche Merkmale und Qualitätskriterien von Grundlagenforschung – die Häufigkeit der Zita-

**56** | Vgl. zum Begriff der Grundlagenforschung Martin, Ben R.; Irvine, John: Assessing Basic Research. Some Partial Indicators of Scientific Progress in Radio Astronomy. In: Research Policy 12 (1983), S. 62.

**57** | Vgl. das Plädoyer Fiedelers, die verschiedenen Bedeutungen des recht unscharfen Konzepts der Techoscience analytisch stärker zu trennen und die Rolle von Technik im Rahmen wissenschaftlicher Forschung genauer zu betrachten: Fiedeler, Ulrich: When does the Co-evolution of Technology and Science Overturn into Technoscience? In: Poiesis and Praxis 8 (2011) H. 2-3, S. 86.

**58** | Vgl. Kapitel VI. „Spin-off. Innovationsprozesse im universitären Kontext“.

**59** | Vgl. Rip, Arie: Regional Innovation Systems and the Advent of Strategic Science. In: Journal of Technology Transfer 27 (2002), S. 123-131.

**60** | Vgl. Irvine, John; Martin, Ben R.: Foresight in Science. Picking the Winners. London u.a. 1984, S. 4.

**61** | Rip, Arie: Strategic Research, Postmodern Universities and Research Training. In: Higher Education Policy 17 (2004), S. 156.



tion durch andere internationale Wissenschaftler, Verfahren der Peer Review und Publikationen in hochrangigen Wissenschaftszeitschriften, die sich nach Martin und Irvine quantitativ bemessen lassen – nicht aufgegeben. Während nach Gibbons u.a. transdisziplinäre Wissensformen die Grenzen zwischen Anwendung und Grundlagenforschung aufheben, betont gerade das Konzept der Strategic Research die weiterhin bestehende und empirisch beobachtbare Distanz zwischen Kontexten der Forschung und Kontexten der Anwendung.<sup>62</sup> Im Unterschied zur Förderung der Grundlagenforschung nach dem im Kalten Krieg dominanten linearen Modell<sup>63</sup> orientieren sich strategische Wissensformen stärker an gesellschaftlich definierten und sich wandelnden Kriterien der Relevanz und der Exzellenz. „Strategic Science, however has internalised the pressure for relevance with maintaining (academic) freedom to continuously move to the most promising line of research.“<sup>64</sup> Strategisch ist demnach die engere Bezugnahme der Wissenschaften auf gesellschaftliche Anforderungen bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung und Kontinuität ihrer wissenschaftsinternen Maßstäbe und Leistungskriterien. Hier liegt auch der Unterschied zur Mode 2-Theorie oder der Technoscience Nordmanns, die beide einen epochalen Wandel der Wissenschaften selbst postulieren.

### **Multi-, Inter- oder Transdisziplinarität?**

Die Nanotechnologie wird oftmals mit einer neuen Form der Interdisziplinarität gleichgesetzt und zusammen mit der Bio- und Informationstechnologie als „converging technology“ bezeichnet. Diese gehen davon aus, dass in Zukunft die Nano-Bio-Info- und Kognitionswissenschaften bei der Entwicklung neuer Technologien zusammenarbeiten und radikal neue Innovationen hervorbringen, die das Verständnis von Mensch, Natur und Technik revolutionieren. Diese Begrifflichkeiten sind aufgrund ihrer unterschiedlichen Verwendungsweisen und normativen Aufladungen allerdings problematisch.<sup>65</sup> Bei genauerer Betrachtung stellt sich die Frage, ob und inwiefern die Akteure tatsächlich auf neue, signifikante Weise trans-, oder interdisziplinär kooperieren und sich vernetzen. Joachim Schummer kritisiert, dass Nanowissenschaftler entgegen

---

**62** | Rip, Regional Innovation Systems, S. 125.

**63** | Nach dem linearen Modell entsteht aus grundlagenwissenschaftlichen Erkenntnissen, über Forschung und Entwicklung bis hin zur Vermarktung Schritt für Schritt ein marktfähiges Produkt.

**64** | Rip, Regional Innovation Systems, S. 126.

**65** | Schmidt, Jan C.: Tracing Interdisciplinarity of Converging Technologies at the Nanoscale. A Critical Analysis of Recent Nanotechnologies. In: Technology Analysis & Strategic Management 20 (2008)1, S. 45.

der landläufigen Meinung nicht wirklich mehr oder neuartig interdisziplinär sind.<sup>66</sup>

Um die verschiedenen Formen der nanotechnologischen Kooperationen und Interaktionen an und über disziplinäre Grenzen hinweg analysieren zu können, ist im ersten Schritt eine Klärung der Begriffe Inter-, Trans- und Multidisziplinarität erforderlich. Transdisziplinarität ist ein Modewort, dessen Bestimmung im Vergleich mit Begrifflichkeiten wie Inter- oder Multidisziplinarität bei näherer Betrachtung schwer fällt: „Like interdisciplinarity, there seems to be no consensus about its meaning.“<sup>67</sup> Im Folgenden wird Multidisziplinarität als eine loses Nebeneinander verschiedener Disziplinen verstanden, während Interdisziplinarität die aktive Zusammenarbeit heterogener Akteure aus unterschiedlichen Disziplinen bezeichnet, ohne dass die bestehenden disziplinären und institutionellen Grenzen aufgegeben würden.<sup>68</sup> Transdisziplinarität dagegen wird eher im Sinne einer A-Disziplinarität aufgefasst, bei der die Akteure ihre eigenen Disziplinen verlassen, ohne notwendigerweise eine neue disziplinäre Identität anzunehmen.<sup>69</sup> Transdisziplinarität erlangte insbesondere im Rahmen der Mode-2-Theorie Prominenz als wichtiges Kriterium für eine neue Form der Wissensproduktion.<sup>70</sup> Jürgen Mittelstraß definiert den Begriff der Transdisziplinarität als ein integratives Konzept, das über die jeweiligen Fachgrenzen hinausgeht und sich an außerwissenschaftlichen, gesellschaftlichen Problemstellungen orientiert.<sup>71</sup> Transdisziplinäre Ansätze werden im Be-

**66** | Schummer, Joachim: Interdisciplinary Issues in Nanoscale Research, in: Baird/Nordmann/Schummer, *Discovering the Nanoscale*, S. 9-20.

**67** | Lawrence, Roderick J.; Després, Carpole: Futures of Transdisciplinarity. In: *Futures* 36 (2004) 4, special issue on transdisciplinarity, S. 399.

**68** | Vgl. Maasen, Sabine; Lengwiler, Martin; Guggenheim, Michael: Practices of Transdisciplinary Research. Closer Encounters of Science and Society. Introduction. In: *Science and Public Policy* 33 (2006) H. 6, S. 395.

**69** | Schummer, *Interdisciplinary Issues*, S. 11.

**70** | Gibbons u.a., *New Production of Knowledge*, S. 27; Vgl. Lawrence/Després, *Futures of Transdisciplinarity*, S. 397; Forman, Paul: On the Historical Forms of Knowledge Production and Curation: Modernity Entailed Disciplinarity, Postmodernity Entails Antidisciplinarity. In: *Isiris* 27 (2012) H. 1, S. 56-97.

**71** | Mittelstraß, Jürgen: Transdisziplinarität. Wissenschaftliche Zukunft und institutionelle Wirklichkeit. Konstanz 2003 (Konstanzer Universitätsreden 214), S. 10-11; Mittelstraß, Jürgen: Transdisziplinarität oder: von der schwachen zur starken Transdisziplinariät. In: *Gegenworte*. (2012) H. 28, S. 12; Lieven, Oliver; Maasen, Sabine: Transdisciplinarity. A New Mode of Governing Science? In: *Science and Public Policy* 33 (2006) H. 6, S. 399-410; Lieven, Oliver; Maasen, Sabine: Transdisziplinäre Forschung: Vorbote eines „New Deal“ zwischen Wissenschaft und Gesellschaft. In: *GAIA. Ökologische Perspektiven für Wissenschaft und Gesellschaft*, 16 (2007) H. 1, S. 35-40; Maasen/Lengwiler/Guggenheim, *Practices of Transdisciplinary Research*.

reich der Klima- und Umweltwissenschaften, des Gesundheitswesens sowie der Nanowissenschaften verfolgt. Explizit bezieht sich Mittelstraß in diesem Zusammenhang auf das Münchner Center für Nanoscience [CeNS]. Es wird zu untersuchen sein, inwiefern man am Beispiel Münchner Forschungskontexte tatsächlich signifikant neue Formen der Trans- oder Interdisziplinarität nachweisen kann.<sup>72</sup> Zwar nehmen Wissenschaftler am Nanodiskurs teil und beziehen sich aus forschungspolitischen und strategischen Gründen auf allgemeine Innovationsversprechen und gesellschaftliche Erwartungen an Wissenschaft. Dies muss jedoch nicht bedeuten, dass sie ihre angestammten Disziplinen aufgeben oder nur noch an der Bearbeitung gesellschaftlicher Problemstellungen interessiert sind.<sup>73</sup>

## Fallstudie München

Die Fragen nach den Wissenschaftskulturen der Nanotechnologie verlangt einen integralen Ansatz, der die Akteure, Kontexte und Praktiken der Nanoforschung auf der Mikroebene in den Blick nimmt, um überhaupt verstehen zu können, was Nanoforschung konkret bedeutet. Dies leisten Kapitel III. „Die Entstehung nanotechnologischer Forschungsfelder“ und Kapitel IV. „Molekulares Lego. Zur instrumentellen Praxis im Nanokosmos“. Die Basis hierfür bilden zahlreiche Laborbesuche und Experteninterviews mit Wissenschaftlern, die in Münchner Nanonetzen aktiv sind. Allerdings darf sich solch ein Ansatz, der nach den Spezifika der Nanotechnologie fragt, gerade nicht auf die Laborsituation und epistemologische Fragestellungen beschränken, da die soziale Konstruktion dieser Felder erst durch die strategische Interaktion der Akteure mit Politik, Medien und Wirtschaft sich erklärt. Wissenschaftshistorische und -soziologische Ansätze, die allein auf das Zusammenspiel epistemischer und technischer Objekte fokussieren oder wie beispielsweise Peter

---

**72** | Vgl. Meyer, Martin: The Emergence of Developer Communities in a Novel Field of Technology: Nanotechnology as a Case of Mode 2 Knowledge Production? In: Bender, Gerd (Hg.): Neue Formen der Wissenserzeugung, Frankfurt 2001, S. 147-162; Selin, Cynthia; Boradkar, Prasad: Prototyping Nanotechnology. A Transdisciplinary Approach to Responsible Innovation. In: Journal of Nano Education 2 (2010) H. 1/2, S. 1-12; Rip, Arie: Nanoscience and Nanotechnologies. Bridging Gaps Through Constructive Technology Assessment. In: Hirsch Hadorn, Gertrude u.a. (Hg.): Handbook of Transdisciplinary Research. Bern 2008, S. 144-158.

**73** | Petra Schaper-Rinkel versucht die Transdisziplinarität der Nanotechnologie mit einer Analyse des Nanodiskurses nachzuweisen und zu kritisieren; sie bindet diese Befunde jedoch nicht zurück an konkrete Forschungsprozesse, Akteure oder Kontexte. Vgl. Schaper-Rinkel, Petra: Transdisziplinierung? Kritische Anmerkungen zu Transdisziplinarität am Beispiel von Nanotechnologie und Neuroforschung. In: Weber, Jutta (Hg.): Interdisziplinierung? Zum Wissenstransfer zwischen den Geistes-, Sozial-, und Technowissenschaften. Bielefeld 2010, S. 29ff.

Galison auf die „innere Laborsituation“, verlieren die entscheidenden äußeren, makrostrukturellen Einflüsse aus den Augen. Diese reichen weiter als Rheinbergers Experimentalsysteme<sup>74</sup>, Galisons „inneres und äußeres Labor“<sup>75</sup>, die Akteur-Netzwerke Bruno Latours<sup>76</sup> oder die Wissenskulturen und -maschinen Karin Knorr-Cetinas.<sup>77</sup> Denn wie Dominique Pestre betont, können solch mikroanalytischen Ansätze die entscheidenden weiteren (franz. „plus vastes“) und komplexeren Zusammenhänge der betrachteten Forschungskulturen nicht fassen.<sup>78</sup> Diese liegen vielmehr auf makrostruktureller Ebene und verlangen einen multifokalen Ansatz, der auch dieser Studie zu Grunde liegt. Folglich werden zur Analyse der nanotechnologischen Wissenschaftskulturen die konkreten Forschungsfelder und Praktiken in übergreifende politische (Kapitel II.), mediale (Kapitel V.) und wirtschaftliche (Kapitel VI.) Zusammenhänge eingebunden. Dieses bislang selten untersuchte komplexe Zusammenspiel makrostruktureller Einflussfaktoren und lokaler mikrostruktureller Forschungspraktiken und -kulturen kann am ehesten im Rahmen einer Fallstudie betrachtet werden. Der Vorteil eines solchen Ansatzes besteht darin, die Mechanismen der sozialen Konstruktion eines wissenschaftlichen Feldes vor Ort genauer untersuchen zu können, ohne dabei übergreifende Trends, Ebenen und Einflussfaktoren aus Politik, Medien und Gesellschaft auszublenden. Denn das Lokale ist nicht, wie Arie Rip betont, „entirely self contained“, sondern eingebettet in vielschichtige nationale, länderübergreifende und z.T. globale Zusammenhänge.<sup>79</sup> Aus diesem Grund werden nicht nur lokale, sondern auch allgemeine makrostrukturelle Faktoren und historische Zusammenhänge in die Analyse der Münchner Nanonetzwerke eingebunden.

Nach Cyrus Mody ist die Transformation des Nanodiskurses in lokale Praktiken eines der interessantesten Aspekte des Nanophänomens, das weitergehender Analysen bedarf.<sup>80</sup> Das lokale Nanonetzwerk CeNS bietet hierfür eine gute Ausgangsbasis. Hier haben sich Wissenschaftler der Ludwig-Maximilians-Universität München [LMU] und später auch der Technischen Universität München [TUM] Ende der 1990er Jahre zu einem Zentrum für Nanowissenschaften [CeNS] zusammengeschlossen. Mittlerweile hat sich dieses nanowis-

**74** | Rheinberger, Experimentalsysteme, S. 25-26.

**75** | Galison, Image and Logic, S. 3-4.

**76** | Latour, Science in Action.

**77** | Knorr-Cetina, Wissenskulturen, S. 22.

**78** | Pestre, À Contre-Science, S. 9.

**79** | Disco, Cornelis; Rip, Arie; Meulen, Bert van der: Technical Innovation and the Universities. Divisions of Labour in Cosmopolitan Technical Regimes. In: Social Sciences Information 31 (1992), S. 467.

**80** | Mody, Cyrus C.M.: How Probe Microscopists Became Nanotechnologists. In: Baird/Nordmann/Schummer, Discovering the Nanoscale, S. 132.

senschaftliche Netzwerk im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes zum Cluster Nanosystems Initiative Munich [NIM] weiterentwickelt. Zudem gibt es etwa ein Dutzend Unternehmen, die aus universitären Forschungskontexten heraus gegründet wurden und sich als nanotechnologische bezeichnen. Die Fokussierung auf den Wissenschaftsstandort München eröffnet deshalb die Chance, die lokalen Netzwerke der Nanotechnologie und damit die konkreten Interaktionen und Karrierewege der Akteure wie auch ihre Strategien und Motive genauer untersuchen zu können.

Münchener Forschungs- und Innovationskontexte sind aufgrund ihrer zahlreichen Aktivitäten im Bereich des sich formierenden Feldes der Nanotechnologie ein geeigneter Untersuchungsgegenstand, um die wissenschaftlichen Praktiken, forschungspolitischen Strategien und konkreten Innovationsprozesse, die sich mit dem recht unbestimmten Begriff der Nanotechnologie verbinden, unter die Lupe zu nehmen. Auch bibliometrische Analysen unterstreichen, dass München ein gutes Fallbeispiel im nationalen wie auch internationalen Maßstab darstellt.<sup>81</sup> Aufgrund der Schwerpunkte und Traditionen Münchens im Bereich der Mikroelektronik und der Halbleiterphysik steht insbesondere die Nanoelektronik im Fokus. Neue Materialien und die damit einhergehende Grundlagenforschung der Halbleiterphysik und Oberflächenwissenschaften stellen seit den 1970er Jahren ein fruchtbares Forschungsfeld dar, das unmittelbare Bezüge zur Industrie aufweist. Hier wird genauer zu betrachten sein, inwiefern nanotechnologische Projekte an die Traditionen der Mikroelektronik anknüpfen und ältere Entwicklungspfade und forschungspolitische Muster fortschreiben. Da die Münchener Akteure der Nanotechnologie im Bereich der universitären Forschung zu verorten sind, liegt der Schwerpunkt dieser Studie vor allem auf grundlagenorientierten Forschungszusammenhängen. Hierbei handelt es sich um Wissenschaftskulturen mit großen Kontinuitätslinien im Bereich der experimentellen Halbleiter- und Biophysik. Die nanotechnologischen Netzwerke basieren auf einer gewachsenen Forschungslandschaft, die sich in den letzten 30 Jahren durch langjährige Kooperationen auch über Fächergrenzen hinweg ausgeprägt hat.

Ob sich die Spezifika der Münchener Nanonetzwerke verallgemeinern lassen, können erst weitere, dringend benötigte Fallstudien zeigen. Die Chancen einer Fallstudie bestehen darin, die im öffentlichen Nanodiskurs formulierten und auch in der begleitwissenschaftlichen Forschung oftmals unkritisch wiederholten Topoi und Bilder der Nanotechnologie an konkrete Akteure und Forschungsfelder rückbinden und überprüfen zu können. Denn erst durch

---

**81** | Vgl. Kapitel III. „Die Entstehung nanotechnologischer Netzwerke in München“; Kehrt, Christian: „Mit Molekülen spielen“. Die Nanotechnologie als forschungspolitische Strategie der universitären Grundlagenforschung. In: Kehrt/Schüßler/Weitze, Neue Technologien in der Gesellschaft, S. 326; Vgl. Heinze, Die Kopplung von Wissenschaft und Wirtschaft S. 292-293.

den Vergleich mit älteren Forschungskulturen und Kontexten lassen sich die Spezifika und Neuerungen der Nanotechnologie verstehen. Ohne die genauere Betrachtung konkreter Handlungszusammenhänge und Akteure, besteht die Gefahr, ein Feld künstlich z.B. mithilfe bibliometrischer Daten zu konstruieren, deren gemeinsamer Nenner lediglich das zählbare Wort „nano“ darstellt. Zugleich stehen mit solch einer Fallstudie auch die Theorien zum wissenschaftlichen Wandel auf dem Prüfstand, die oftmals ohne empirische Belege oder historische Fundierung einen fundamentalen Transformationsprozess hin zur Technoscience oder zur Mode-2-Wissenschaft postulieren. Shinn plädiert angesichts der eher makrostrukturellen und metatheoretisch angelegten Debatten über das Verhältnis von Wissenschaft, Technik und Gesellschaft dafür, durch empirische Fallstudien genauer den Übergangsbereich zwischen Forschung, Technik, Wirtschaft und Gesellschaft zu betrachten.<sup>82</sup> Die Münchner Fallstudie zur Wissenschaftskultur der Nanotechnologie teilt diese Kritik, zumal wenn es um das Postulat eines angeblich epochalen, aber bislang kaum wirklich historisch nachgewiesenen Wandels der Wissenschaftskulturen geht.<sup>83</sup>

Im Falle der Nanotechnologie treten allerdings all jene methodischen und konzeptionellen Grundprobleme auf, die sich im Rahmen einer gegenwartsorientierten Wissenschaftsgeschichtsschreibung stellen.<sup>84</sup> Hierzu zählt der Mangel an zugänglichen Akten und Primärquellen bei gleichzeitigem „information overload“ durch nahezu endlos große Datenmengen u.a. in elektronischen Zeitschriftenaufsätzen.<sup>85</sup> Thomas Söderqvist hat in diesem Zusammenhang empfohlen, insbesondere lokalhistorische Ansätze zu wählen, um konkrete Erkenntnisprozesse überhaupt noch beschreiben zu können.<sup>86</sup> Die große Zahl an Publikationen führt ferner dazu, dass auch Historiker die Publikationslandschaft mithilfe quantitativer, bibliometrischer Verfahren charakterisieren müssen. Das Publikationsverhalten und die daraus sich ableitenden Interaktionsformen und Vernetzungen Münchner Nanowissenschaftler konnten auf der Grundlage des „science citation index“ und der systematischen Auswertung von Zeitschriftenpublikationen für die Jahre 1990 bis 2006 analysiert werden. Diese Daten geben erste Hinweise auf ein sich formierendes Feld und seine Akteure, das mit den Selbstaussagen der Akteure im Interview und dem öffentlichen Nanodiskurs verglichen werden kann. Allerdings sind bibliometrische Ansätze durchaus problematisch und können die soziale Konstruktion

---

**82** | Shinn, *The Triple Helix and New Production of Knowledge*, S. 610.

**83** | Vgl. zu dieser Frage Nordmann/Radder/Schiemann, *Science Transformed?*

**84** | Söderqvist, Thomas (Hg.): *The Historiography of Contemporary Science and Technology*. Amsterdam 1998, S. 9.

**85** | Ebd., S. 4.

**86** | Ebd., S. 6.

der Nanotechnologie nicht verständlich machen. Vielmehr ist ein Methodenmix aus der Analyse von Publikationen, grauer Literatur, medialen Bildern und Narrationen, Interviews, Laborbesichtigungen sowie die Berücksichtigung historischer und forschungspolitischer Zusammenhänge erforderlich, um die verschiedenen Ebenen des Konstrukts „Nanotechnologie“ im Rahmen einer Fallstudie in den Blick zu nehmen.

## Experteninterviews

Als Grundlage der Arbeit wurden mehr als 30 leitfadengestützte Experteninterviews geführt.<sup>87</sup> Diese dienen als „Quelle von Spezialwissen über die zu erforschenden sozialen Sachverhalte.“<sup>88</sup> Glaser und Laudel verdeutlichen dies am Beispiel der wissenschaftlichen Kooperationsformen im Rahmen eines Sonderforschungsbereichs, zu deren Analyse die beteiligten Wissenschaftler als Experten interviewt wurden. Ähnlich verhält es sich mit der Münchner Fallstudie. Die Experteninterviews wurden mit Wissenschaftlern geführt, die in lokalen nanotechnologischen Forschungsnetzwerken aktiv waren und einen besonderen Einblick versprachen, wenn es um die Frage nach den Spezifika nanotechnologischer Forschungskontexte und die Entstehung nanotechnologischer Forschungsfelder in München ging. Die Interviewfragen zielten auf ein Verständnis der wissenschaftlichen Arbeit der Akteure, ihren Bezug zur Nanotechnologie, die Rolle des Standortes München sowie die historischen Hintergründe ihrer Forschung. Experteninterviews unterscheiden sich vom biografischen Oral-History-Interview insofern, als es nicht primär um die freie Generation und Analyse von Narrationen, Erinnerungen und Selbstdeutungen geht, sondern um die gezielte Rekonstruktion konkreter Sachverhalte und überprüfbarer Zusammenhänge. Interviews werden in der historischen Forschung immer noch mit Skepsis betrachtet. Sie eröffnen jedoch gerade für die hier im Fokus stehende Betrachtung der bis in die Gegenwart reichenden und durch Akten nicht abgedeckten Zeithorizonte neue, wichtige Erkenntnismöglichkeiten.<sup>89</sup> Sie geben Einblick in die Motive und Interessen der Akteure und

---

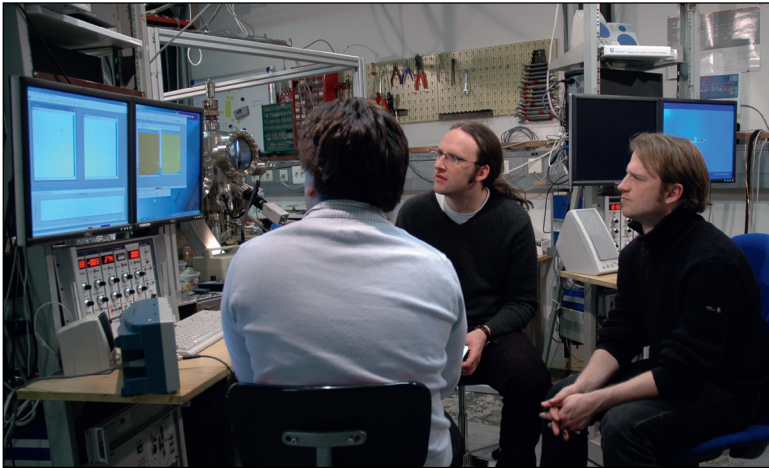
**87** | Flick, Uwe: *Qualitative Sozialforschung*. Hamburg 2007, S. 214-219; Bogner, Alexander; Litig, Beate; Menz, Wolfgang (Hg.): *Experteninterviews. Theorien, Methoden, Anwendungsfelder*. 3. Aufl. Wiesbaden 2009; Wierling, Dorothee: *Oral History*. In: *Aufriß der Historischen Wissenschaften*, Bd. 7, *Neue Themen und Methoden der Geschichtswissenschaft*, Stuttgart 2003, S. 109; Gläser, Jochen; Laudel, Grit: *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse* (3. Aufl.). Wiesbaden 2009.

**88** | Gläser/Laudel, *Experteninterviews*, S. 12.

**89** | Zur Bedeutung von Interviews im Rahmen der Wissenschafts- und Technikgeschichte siehe auch die Studien von Cyrus Mody und Jochen Hennig zum Rastertunnelmikroskop oder Catarina Caetano zu medizinischen Operationsrobotern. Vgl. Mody, *Instrumental Community*, S. 20; Hen-

ermöglichen die Rekonstruktion von Forschungskontexten und Problemlagen, die durch die wissenschaftlichen Publikationen der Akteure allein nicht ersichtlich werden.

*Abbildung 2: Christian Kehrt und Peter Schüßler beim Interview mit einem Nanowissenschaftler im Labor Wolfgang Heckls, Fachbereich Kristallografie, LMU, 2007. Zu sehen sind die für die Forschung mit dem Rastertunnelmikroskop notwendigen Messgeräte, Bildschirme, Lautsprecher und zahlreiche Werkzeuge zum Präparieren der Proben und Basteln mit den Instrumenten und Messvorrichtungen. Die Experteninterviews drehten sich um die konkrete Forschungspraxis der jeweiligen Akteure, ihr Verständnis von Nanotechnologie und die damit einhergehenden Motive, Strategien und Anforderungen.*



Die Interviews wurden in den Jahren 2006-2009 geführt und erheben keinen Anspruch, alle aktuellen Trends und Entwicklungen der Nanotechnologie abzudecken.<sup>90</sup> Vielmehr geht es um ein tieferes Verständnis jener komplexen historischen und sozialen Prozesse, die zur Herausbildung nanotechnologischer Forschungsfelder führten.<sup>91</sup> Als Ergebnis liegen mehr als 30 systematisch geführte Experteninterviews mit Akteuren an nanotechnologischen Schnittstellen, wie etwa dem Walter-Schottky-Institut in Garching oder Wissenschaftlern

nig, Bildpraxis, S. 27; Caetano, Catarina: Operationsroboter in Action. Kontroverse Innovationen in der Medizintechnik. Bielfeld 2013, S. 31.

**90** | Gleiches gilt für bibliometrische Daten.

**91** | Eine stärkere Gegenwartsorientierung hatte das Teilprojekt des Soziologen Peter Schüßler. Das Projekt „Knowledge-Production and Innovation at the Nanoscale. Instruments, Images and Visions in the Practice of Nanotechnology“ wurde im Rahmen der Förderinitiative „Innovationsprozesse in Wirtschaft und Gesellschaft“ der VolkswagenStiftung gefördert.



im Bereich der Biophysik und Halbleiterphysik der LMU, aber auch Ingenieuren der TU und Forschern an Max-Planck-Instituten vor.<sup>92</sup> Sie fanden vor Ort an den jeweiligen Forschungsstätten und Laboren der Wissenschaftler statt und gingen mit Besichtigungen und Erläuterungen der Forschungsinstrumente und Versuchsanordnungen einher. Die Auswahl der Interviewpartner orientierte sich an den beiden Münchner Nanonetzwerken CeNS und NIM.

Um Überinterpretationen zu vermeiden, wurden stets mehrere Akteure eines Forschungsfeldes interviewt und ihre Aussagen bei der Auswertung der transkribierten Interviews miteinander verglichen. Aus methodischen Gründen war es entscheidend, nicht nur aktive Proponenten der Nanotechnologie zu interviewen, sondern ebenfalls Wissenschaftler, die mit vergleichbaren Instrumenten und Objekten im Nanokosmos arbeiten, sich aber nicht notwendigerweise als Nanowissenschaftler verstehen und dem Nanohype eher skeptisch bis ablehnend gegenüber stehen.<sup>93</sup> Von besonderer Bedeutung waren vor allem jene Wissenschaftler, die bereits seit den 1970er Jahren den Wandel des Wissenschaftssystems miterlebt und die wesentlichen Weichenstellungen hin zur Nanotechnologie und Wissenschaft selbst vollzogen haben. Es wurden sowohl ältere Schlüsselakteure auf der Führungsebene als auch Doktoranden und Postdoktoranden sowie jüngere im Rahmen der Nanotechnologieinitiative ernannte Professoren und Juniorprofessoren interviewt.<sup>94</sup> Bei der Auswertung war darauf zu achten, nicht unreflektiert die Selbstbilder, Topoi und Narrationen der Akteure zu übernehmen. Die Aussagen der Interviews wurden untereinander sowie mit unveröffentlichten Quellematerialien und grauer Literatur verglichen.<sup>95</sup>

---

**92** | Die meisten Interviews habe ich zusammen mit Peter Schübler und einige mit dem damaligen Leiter des Zentrums für Neue Technologien am Deutschen Museum, Walter Hauser, geführt.

**93** | Vgl. Kehrt/Schübler, *Nanoscience is 100 Years Old*.

**94** | Alle zitierten Interviewpassagen sind durch die interviewten Wissenschaftler autorisiert. In einem Fall wurden das Interview auf Wunsch anonymisiert.

**95** | Hierbei handelt es sich beispielsweise um Entwürfe für neue Forschungszentren und ministerielle Briefwechsel, die Einblicke in die forschungspolitischen Motive der Akteure ermöglichen. Quellenbestände in Universitäts-, Staats-, Landes-, und Firmenarchiven waren nicht zugänglich, so dass ich auf die Unterstützung einzelner Wissenschaftler angewiesen war, die mir teilweise Akten und Schlüsseldokumente überließen oder mich in alten Kartons in der Ecke des Arbeitszimmers stöbern ließen. Allerdings sind diese Quellen nur durch die Akteure selbst zugänglich gemacht worden, da die hierfür erforderlichen Archivalien aufgrund von Sperrfristen noch nicht zugänglich sind.

## Forschungsstand

Angesichts der Tatsache, dass der Nanohype erst wenige Jahre alt ist, gibt es eine beeindruckende Vielzahl begleitwissenschaftlicher Publikationen. Auch die Geistes- und Sozialwissenschaften haben das neu entstehende Feld nicht nur untersucht, sondern auch mitdefiniert, da Begleitforschung von Anfang an aus forschungspolitischen Gründen gefördert wurde. Auffallend ist die geringe Zahl an Monografien.<sup>96</sup> Der Forschungsstand kommt daher insgesamt einer ersten, skizzenhaften Inventur eines neu entstehenden Feldes gleich. Die meisten Arbeiten befassen sich mit dem öffentlichen Nanodiskurs. Viele Studien haben zudem handlungsleitenden und politikberatenden Charakter, so dass hier die nötige kritische Distanz fehlt. Anstatt sich den Forschungskontexten und Innovationsprozessen zuzuwenden, werden diskursive Muster und Topoi wiederholt und festgeschrieben, die die Akteure selbst ins Feld führen. Auf diese Weise tragen auch die Geistes- und Sozialwissenschaften aktiv zur sozialen Konstruktion der Nanotechnologie bei. Deshalb sind neben den Assessmentstudien über zukünftige Chancen, Risiken und Technikfolgen vor allem verstehende Ansätze gefragt, die untersuchen, wie im Labor geforscht wird und wie diese Wissenschaftskulturen entstanden sind, um letztlich nanotechnologische Forschungskontexte und Innovationsprozesse besser beurteilen zu können.<sup>97</sup>

Einen ersten Überblick über das heterogene und nur schwer eingrenzbares Feld der Nanowissenschaften erlauben vor allem bibliometrische Verfahren. Diese werden sowohl zu rein wissenschaftlichen Zwecken als auch in politikberatender Hinsicht erstellt. Allerdings fehlt diesen ersten bibliometrischen Skizzen die Rückbindung der Ergebnisse an konkrete Forschungs- und Innovationskontexte.<sup>98</sup> Eine wichtige Bestandsaufnahme stellen die Sammelbände

**96** | Bensaude-Vincent, *Les Vertiges de la Technoscience*; Biniok, *Wissenschaft als Bricolage*; Wullweber, Joscha: *Hegemonie, Diskurs und politische Ökonomie. Das Nanotechnologie-Projekt*. Baden-Baden, Kassel 2010; Schummer, *Nanotechnologie*.

**97** | Wood, Stephen; Geldart, Alison; Jones, Richard: *Crystallizing the Nanotechnology Debate*, in: *Technology Analysis & Strategic Management*, 20 (2008) H. 1, S. 13.

**98** | Meyer, Martin: *Patent Citations in a Novel Field of Technology. What Can They Tell About Interactions Between Emerging Communities of Science and Technology?* In: *Scientometrics* (2000) H. 2, S. 151-178; Meyer, Martin: *Nanotechnology. Interdisciplinarity, Patterns of Collaboration and Differences in Application*. In: *Scientometrics* (1998) H. 2, S. 195-205; Heinze, Thomas; Bauer, Gerrit: *Characterizing Creative Scientists in Nano-S&T. Productivity, Multidisciplinarity, and Network Brokerage in a Longitudinal Perspective*. In: *Scientometrics* (2007) H. 3, S. 811-830; Leydesdorff, Loet; Zhou, Phing: *Nanotechnology as a Field of Science. Its delineation in Terms of Journals and Patents*. In: *Scientometrics* (2007) H. 3, S. 693-713; Bassecoulard, Elise; Lelu, Alain; Zitt, Michail: *Mapping Nanosciences by Citation Flows. A Preliminary Analysis*. In:

von Alfred Nordmann, Davies Baird, Joachim Schummer und Astrid Schwarz dar.<sup>99</sup> Besonders gut erforscht ist zudem die Dimension der Zukunft.<sup>100</sup> Auch die Geschichte des *Rastertunnelmikroskops* wurde durch die hervorragenden Arbeiten Cyrus Modys und Jochen Hennigs bis zum Beginn der 1990er Jahre behandelt, während die Geschichte des *Rasterkraftmikroskopes* [engl. Atomic Force Microscope, AFM] und seiner breiten Anwendung in den Lebenswissenschaften noch aussteht.<sup>101</sup> Cyrus Mody hat mit dem Begriff der „instrumental community“ die wechselhaften Übergänge und Wandlungsprozesse der Erfindung, Aneignung und Verbreitung des Instruments nachgezeichnet.<sup>102</sup> Jochen Hennig geht es um bildwissenschaftliche Fragen auf der Ebene der Laborpraxis sowie die mit diesen Bildern einhergehenden Bildtraditionen. Weniger Aufmerksamkeit fanden dagegen Forschungstechnologien wie etwa die *Moleku-*

---

Scientometrics (2007) H. 3, S. 859-880; Robinson, Douglas K. R.; Ruivenkamp, Martin; Rip, Arie: Tracking the Evolution of New and Emerging S&T via Statement Linkages. Vision Assessment in Molecular Machines. In: Scientometrics (2007) H. 3, S. 831-858.

**99** | Baird/Nordmann/Schummer, *Discovering the Nanoscale*; Nordmann/Schummer/Schwarz, *Nanotechnologien im Kontext*; Schummer/Baird, *Nanotechnology Challenges*.

**100** | Steinmüller, Karlheinz: *Die Zukunft der Technologien*. Hamburg 2006; Grunwald, Armin: *Nanotechnologie als Chiffre der Zukunft*. In: Nordmann/Schummer/Schwarz, *Nanotechnologien im Kontext*, S. 49-80; Lösch, Andreas: *Antizipationen nanotechnischer Zukünfte. Visionäre Bilder als Kommunikationsmedien*. In: Nordmann/Schummer/Schwarz, *Nanotechnologien im Kontext*, S. 223-242; Milburn, Colin: *Nanotechnology in the Age of Posthuman Engineering. Science Fiction and Science*. In: Hayles, Katherine N. (Hg.): *Nanoculture. Implications of the New Technoscience*. Bristol, Portland 2004, S. 109-129; Gammel, Stefan; Ferrari, Arianna (Hg.): *Visionen der Nanotechnologie. Zur (Selbst-)Fiktionalisierung der Wissenschaft*. Berlin 2009; Maasen, Sabine u.a. (Hg.): *Deliberating Future Technologies. Identity, Ethics, and Governance of Nanotechnology*. Heidelberg u.a. 2010 (*Sociology of the Sciences Yearbook*, Bd. 27).

**101** | Mody, Cyrus C.M.: *Crafting the Tools of Knowledge. The Invention, Spread and Commercialization of Probe Microscopy, 1960-2000*, 2004 (Dissertation Cornell University); Cyrus C.M. Mody, *Corporations, Universities, and Instrumental Communities. Commercializing Probe Microscopy, 1981-1996*. In: *Technology and Culture* (2006) H. 1, S. 56-80; Hennig, Jochen: *Das Rastertunnelmikroskop. Von der Störstellanalyse zum Nanowerkzeug*. In: *Physik in unserer Zeit* (2004), H. 5, S. 246-7; Hennig, Jochen: *Changes in the Design of Scanning Tunneling Microscopic Images from 1980 to 1990*. In: Schummer/Baird, *Nanotechnology Challenges*, S. 143-163; Hennig, Jochen: *Lokale Bilder in globalen Kontroversen. Die heterogenen Bildwelten der Rastertunnelmikroskopie*. In: Hinterwaldner, Inge; Buschhaus, Markus (Hg.): *The Picture's Image. Wissenschaftliche Visualisierung als Komposit*. München 2006, S. 243-259; Hennig, Jochen: *Bildpraxis. Visuelle Strategien in der frühen Nanotechnologie*. Bielefeld 2009.

**102** | In dieser hauptsächlich auf die USA abzielenden Studie spielt München jedoch keine Rolle. Vgl. Mody, *Instrumental Community*.

*larstrahlepitaxie*<sup>103</sup> zur Herstellung ultradünner Schichten, die Geschichte der *Lithografieverfahren* und ihrer Rolle bei der Mikro- und Nanostrukturierung oder auch die eminent wichtige Funktion des *Elektronenmikroskops* im Bereich der Lebenswissenschaften, Materialprüfung und Festkörperphysik.<sup>104</sup>

Auf dem Gebiet der Science and Technology Studies gibt es bis dato nur wenige fundierte Analysen über die Vorläufer und die Wandlungsprozesse hin zur Nanotechnologie. Zu nennen sind hier die Arbeiten von Bernadette Bensaude-Vincent oder Monika Kurath.<sup>105</sup> Historische Skizzen zur Entstehung und Geschichte der Nanotechnologie wurden oft von den Wissenschaftlern selbst verfasst.<sup>106</sup> Auch Wissenschaftsphilosophen wie Joachim Schummer und Alfred Nordmann haben sich mit den historischen Vorläufern z.B. dem Materialwissenschaftler Herbert Gleiter und dem Chemiker Jean-Marie Lehn befasst.<sup>107</sup> Historiker im engeren Sinne haben dieses Feld jedoch kaum wahrgenommen, geschweige denn untersucht.<sup>108</sup> Eine Ausnahme stellen hier die Beiträge von Patrick McCray und Ann Johnson zur nanotechnologischen Forschungspolitik der USA dar.<sup>109</sup> Zum allgemeinen Wandel der Wissenschaften liegt mittlerweile eine Fülle soziologischer Arbeiten und Theorien vor.<sup>110</sup> Wis-

**103** | McCray, Patrick: MBE Deserves a Place in the History Books. In: *Nature Nanotechnology* 2 (2007) H. 5, S. 259-261.

**104** | Müller, Falk: Zwischen Bilderbuch und Messgerät. Der Elektronenoptische Blick auf die Realstruktur von Festkörpern. In: Heßler, Martina (Hg.): *Konstruierte Sichtbarkeiten. Wissenschafts- und Technikbilder seit der frühen Neuzeit*. München 2005, S. 75-98.

**105** | Bensaude-Vincent, Bernadette: The Construction of a Discipline. *Materials Science in the United States*. In: *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* (2001), S. 223-248; Bensaude-Vincent, Bernadette: Two Cultures of Nanotechnology? In: *HYLE* (2004) H. 2, S. 65-82; Kurath, Monika; Maasen, Sabine: Disziplinäre Identitätsbildung neu gedacht. *Toxikologie als Nanowissenschaft?* In: Nordmann/Schummer/Schwarz, *Nanotechnologien im Kontext*, S. 397-418.

**106** | Gobrecht, Jens: Rückblick auf die Entstehungsgeschichte der Nanotechnologie. In: Oesterreicher, Marianne (Hg.), *Highlights aus der Nano-Welt. Eine Schlüsseltechnologie verändert unsere Gesellschaft*. Freiburg 2006 S. 12-31; Edwards, Steven A.: *The Nanotech Pioneers. Where Are They Taking Us?* Weinheim 2006.

**107** | Schummer, Joachim: Gestalt Switch in Molecular Image Perception. *The Aesthetic Origin of Molecular Nanotechnology in Supramolecular Chemistry*. In: *Foundations of Chemistry*, 2006, S. 53-72; Woyke, Andreas: Überlegungen zur Verortung der Nanotechnologie in einem wissenschafts- und technikgeschichtlichen Kontinuum. In *Beiträge zur Wissenschaftsgeschichte* (2008), S. 58-67; Nordmann, Alfred: Unsichtbare Ursprünge. Herbert Gleiter und der Beitrag der Materialwissenschaft. In: Nordmann/Schummer/Schwarz, *Nanotechnologien im Kontext*, S. 81-96.

**108** | McCray, Will *Small be Beautiful?*, S. 179.

**109** | Johnson, *The End of Pure Science?*

**110** | Vgl. u.a. *Postmodern science* (Forman), *Post-academic science* (Ziman), *Technoscience* (Latour), *Mode 2* (Gibbons, Nowotny), *Triple Helix* (Leydesdorff, Etzkowitz), *Enge Kopplung* (Wein-

senschafts- und technikgeschichtliche Studien, die mit diesen Deutungsangeboten der Wissenschaftssoziologie über den Wandel der Wissenschaften seit den 1970er Jahren ins Gespräch kämen und die zur Debatte stehenden Veränderungsprozesse genauer untersuchten, gibt es allerdings bislang kaum. Eine der wenigen historisch orientierten Beiträge auf diesem Feld ist Steven Shapins *The Scientific Life*.<sup>111</sup> In dieser an der Schnittstelle von Soziologie, Kultur-, Wissenschafts- und Technikgeschichte stehenden Arbeit wird in langen Linien die Herausbildung einer neuen unternehmerischen Kultur der Wissenschaften gezeichnet, die der Autor in der bis in die Gegenwart reichenden Epoche der „late modernity“ verortet.

Während die Anfänge der Festkörper- und Halbleiterphysik bearbeitet wurden, fehlen Studien zur Halbleiterindustrie und auch Festkörperphysik in Deutschland für die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg.<sup>112</sup> Kai Handel hat die Anfänge der Festkörperphysik bis Ende der 1950er Jahre und Michael Eckert die Gründung des Max-Planck-Instituts für Festkörperphysik in Stuttgart behandelt.<sup>113</sup> Helmuth Trischler untersuchte Zusammenhang von ziviler und militärisch orientierter Forschung am Beispiel des Freiburger Fraunhofer-Instituts für Angewandte Festkörperphysik.<sup>114</sup> Dennoch besteht ein großes

---

gart), Finalisierungsthese (Böhme, van der Daele, Krohn, Küppers), Strategic Research (Irvine, Martin), Post-normal science (Funtowicz, Ravetz), Innovation Systems (Edqvist), Academic capitalism (Slaughter, Leslie).

**111** | Shapin, *Scientific Life*.

**112** | Hoddeson, Lillian u.a. (Hg.): *Out of the Crystal Maze. Chapters from the History of Solid State Physics*, New York, Oxford 1992; Hoddeson, Lillian: *Solid State Science*. In: Krige, John; Pestre, Dominique (Hg.): *Science in the Twentieth Century*, Amsterdam 1997, S. 585-598; Weaire, Denis L. (Hg.): *Solid State Science. Past, Present and Predicted*. Bristol 1987; Brock, David C. (Hg.): *Understanding Moore's Law. Four Decades of Innovation*. Philadelphia, Pennsylvania 2006; Bassett, Ross Knox: *To the Digital Age. Research Labs, Start-Up Companies and the Rise of MOS Technology*. Baltimore, London 2002; Braun, Ernest; MacDonald, Stuart: *Revolution in Miniature. The History and Impact of Semiconductor Electronics*. New York 1978; Morris, Peter R.: *History of the World Semiconductor Industry*. London 1990; Seitz, Frederick: *Electronic Genie. The Tangled Prelude of Silicon*. Urbana, Chicago 1998; Lojek, Bo: *History of Semiconductor Engineering*. Berlin, Heidelberg. New York 2007.

**113** | Eckert, Michael, Osietzki, Maria: *Wissenschaft für Macht und Markt. Kernforschung und Mikroelektronik in der Bundesrepublik Deutschland*. München 1989; Handel, Kai Christian: *Anfänge der Halbleiterforschung und Entwicklung. Dargestellt an den Biographien von vier deutschen Halbleiterpionieren*. Diss. Technische Hochschule Aachen, 1999.

**114** | Trischler, Helmuth: *Hoffnungsträger oder Sorgenkind der Forschungspolitik? Die bundesdeutsche Großforschung in den „langen“ siebziger Jahren*. In: Bruch, Rüdiger vom; Henning, Eckart (Hg.): *Wissenschaftsfördernde Institutionen im Deutschland des 20. Jahrhunderts*. Berlin MPG-Archiv 1999, (= Dahlemer Archivgespräche, Bd. 5) S. 200-214; Trischler, Helmuth: *Das Fraunho-*

Desiderat sowohl in wirtschafts- als auch wissenschaftsgeschichtlicher Hinsicht, wenn es um die deutsche und europäische Festkörperphysik, Halbleiterindustrie und Mikroelektronik seit den 1970er Jahren geht. Auch Christian Forstner fokussiert sich ausschließlich auf die amerikanischen Entwicklungen der Quantenmechanik und lässt die Bezüge zur Halbleiterphysik außen vor.<sup>115</sup> Allerdings beschäftigt er sich mit den medialen und kulturellen Seiten des Feynmankultes und ermöglicht damit aufschlussreiche historische Bezüge zum Nanohype.<sup>116</sup> Auch Arbeiten zur Biophysik liegen derzeit kaum vor. Alexander von Schwerin befasst sich mit den Anfängen der Strahlenphysik, die weitere Entwicklung dieses Feldes harrt aber noch seiner Beschreibung.<sup>117</sup> Insofern teile ich das Urteil Jochen Hennigs, dass trotz einiger beeindruckender, vor allem amerikanischer Studien, „die wissenschaftliche Praxis der Physik nach 1945 lediglich äußerst bruchstückhaft wissenschaftshistorisch erfasst“ ist.<sup>118</sup>

Die Geschichte des Forschungs- und Innovationsstandortes München und auch Bayern ist dagegen weitaus besser bearbeitet.<sup>119</sup> Städte rückten in jüngerer Zeit vermehrt in den Fokus wissenschaftshistorischer Ansätze.<sup>120</sup> München

---

fer-Institut für Angewandte Festkörperphysik im Kontext der bundesdeutschen Forschungs- und Innovationsgeschichte: Ein zeithistorischer Essay. In: Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik (Hg.): 50 Jahre Fraunhofer IAF. Heller, schneller, stärker, Freiburg: IAF, 2007, S. 29-66; Trischler, Helmuth: Verteidigungsforschung und ziviles Innovationssystem in der Bundesrepublik Deutschland. Festkörperphysik in Deutschland. In: Technikentwicklung zwischen Wirtschaft und Verwaltung in Großbritannien und Deutschland (19./20.Jh.), Jahrbuch für Europäische Verwaltungsgeschichte, 20 (2008), S. 187-208.

**115** | Forstner, Christian : Quantenmechanik im Kalten Krieg. David Bohm und Richard Feynman. Stuttgart u.a. 2007.

**116** | Vgl. Kapitel V. „Medialisierungsstrategien“.

**117** | Vgl. Schwerin, Alexander von: The Origins of German Biophysics in Medical Physics (1900-1930). In: Trischler, Helmuth; Walker, Mark (Hg.): Physics and Politics. Research and Research Support in Twentieth Century Germany in International Perspective. Stuttgart 2010 (Beiträge zur Geschichte der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bd. 5), S. 37-60.

**118** | Hennig, Bildpraxis, S. 19. Vgl. zu den USA Galison, Image and Logic; Pickering, Science as Practice and Culture; Pickering, Andrew: The Mangle of Practice. Time, Agency, and Science. Chicago 1995.

**119** | Deutinger, Stephan: Vom Agrarland zum High-Tech Staat. Zur Geschichte des Forschungsstandortes Bayern 1945-1990. München 2001; Trischler, Helmuth: Nationales Innovationssystem und regionale Innovationspolitik. Forschung in Bayern im westdeutschen Vergleich 1945 bis 1980. In: Schlemmer, Thomas; Woller, Hans (Hg.): Politik und Kultur im föderativen Staat 1949 bis 1973, München 2004 (=Bayern im Bund, Bd. 3), S. 118-194; Heßler, Kreative Stadt.

**120** | Gieryn, Thomas F.: City as Truth Spot. Laboratories and Field-Sites in Urban Studies. In: Social Studies of Science (2006) H. 1, S. 5-38; Livingstone, David: Putting Science in its Place. Geographies of Scientific Knowledge. Chicago 2003; Dierig, Sven; Lachmund, Jens; Mendelsohn,

wurde zudem als Innovationsstandort in regional orientierten, wirtschaftsgeografischen Studien untersucht.<sup>121</sup> Auch liegen einige Arbeiten zu Siemens vor.<sup>122</sup> Für das Münchner Fallbeispiel bieten die raum- und wissenschaftshistorisch orientierte Arbeit von Martina Heßler und auch Stephan Deutingers Monografie zur Geschichte des Forschungsstandortes Bayern eine gute Ausgangslage. Martina Heßler hat „Münchens späte Entwicklung zur Hightech Stadt“ behandelt.<sup>123</sup> In ihrer Studie standen diskursive, architektonische und stadthistorische Zusammenhänge im Kontext der Verlegung wissenschaftlicher Institute in die Peripherie Münchens im Vordergrund. Die Wissenschaftsgeschichte Münchens, insbesondere der beiden großen Universitäten, ist für die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg bis dato jedoch kaum erforscht, obwohl eine ganze Reihe von Nobelpreisträgern im Laufe ihrer Karriere in München tätig war.<sup>124</sup> Eine wissenschafts- und zeithistorische Arbeit zu München, insbesondere zur Physik an der LMU und TUM in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg, bleibt deshalb ein großes Forschungsdesiderat.<sup>125</sup> Auch die engere

---

Andrew J. (Hg.): Science and the City. In: Osiris (2003) H. 2, S. 116-134; Wakeman, Rosemary: Dreaming the New Atlantis. Science and the Planning of Technopolis, 1955-1985. In: Dierig/Lachmund/Mendelsohn, Science and the City, S. 255-270; Heßler, Martina: Vernetzte Wissensräume. Zur Bedeutung von Orten in einer vernetzten Welt. In: Technikgeschichte (2003) H. 4, S. 235-255; Heßler, Martina: Stadt als innovatives Milieu. Ein transdisziplinärer Forschungsansatz. In: Neue Politische Literatur (2002), S. 193-223; Hård, Mikael; Jamison, Andrew: Urban Machinery. Inside Modern European Cities. Cambridge, MA. 2009.

**121** | Castells, Manuel; Hall, Peter: Technopoles of the World. The Making of Twenty-First-Century Industrial Complexes, London. New York 1994; Sternberg, Rolf; Tamásy, Christine: Munich as Germany's No.1 High Technology Region. Empirical Evidence, Theoretical Explanations and the Role of Small Firm/ Large Firm Relationships. In: Regional Studies (1999) H. 4, S. 367-377.

**122** | Stenke, Gero: Großunternehmen in innovativen Milieus. Das Beispiel Siemens, München, Köln 2002; Erker, Paul: Forschung und Entwicklung in der Transistortechnologie. Entscheidungszwänge und Handlungsspielräume am Beispiel Siemens und Philips, 1947-1960. In: Technikgeschichte (1993) H. 3, S. 267-284; Schmoch, Ulrich: Hochschulforschung und Industrieforschung. Perspektiven der Interaktion. Frankfurt 2003; Hack, Lothar: Technologietransfer und Wissenstransformation. Zur Globalisierung der Forschungsorganisation von Siemens. Münster 1998.

**123** | Heßler, Kreative Stadt.

**124** | Adolf Butenandt, Nobelpreis für Chemie 1939; Werner Heisenberg (Physik 1932); Rudolf Ludwig Mößbauer (Physik 1961); Klaus von Klitzing (Physik 1985); Gerd Binnig (Physik 1986); Robert Huber (Chemie 1988); Johannes Deisenhofer (Chemie 1988); Erwin Neher (Medizin 1991); Wolfgang Ketterle (Physik 2001); Theodor W. Hänsch (2005 Physik); Gerhard Ertl (Chemie 2007).

**125** | Wengenroth, Ulrich: Die Technische Hochschule nach dem Zweiten Weltkrieg. Auf dem Weg zu High-Tech und Massenbetrieb. In: Wengenroth, Ulrich (Hg.): Technische Universität München. Annäherungen an ihre Geschichte. Technische Universität München 1993, S. 261-298; Herrmann, Wolfgang A. (Hg.): Technische Universität München. Die Geschichte eines Wissenschaftsunter-

Verbindung der Universitäts- und Wissenschaftsgeschichte ist nicht hinreichend erforscht, so Sylvia Paletschek in einem Forschungsüberblick über neue Perspektiven der Universitätsgeschichte.<sup>126</sup>

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Geschichte des Rastertunnelmikroskops wie auch die Rolle des Feynmanmythos sowie die Dimension der Zukunft bereits gut erforscht sind. Dagegen mangelt es an empirischen Fallstudien, die diese ersten Bestandsaufnahmen und Hypothesen zur Nanotechnologie vertiefen und überprüfen. Insbesondere das seit über 40 Jahren auf molekularer Ebene arbeitende Feld der Halbleiterphysik und die sich daran anschließende Nanoelektronik wurden noch nicht hinreichend behandelt.<sup>127</sup> Es steht nicht nur im Rahmen der Münchner Fallstudie im Mittelpunkt, sondern macht insgesamt eines der Kernfelder der Nanotechnologie aus. Weitere Fallstudien auch zu vergleichbaren Forschungs- und Innovationsfeldern sind gefragt, insbesondere zu materialwissenschaftlichen Entwicklungen, aber auch zur Geschichte der Biophysik sowie den technischen Grundlagen der Mikroelektronik in Forschung und Produktion. Auch die Rolle der Quantentheorie, ihre Weiterentwicklung und Bezug zu experimentellen Wissenschaftskulturen bedarf weiterer Forschung. Ferner zeigt die Fallstudie zu München, dass die Akteure in einem unmittelbaren Wissensaustausch mit amerikanischen Forschern, Instituten und Universitäten stehen. Diese transatlantischen Wissenszirkulationen und auch forschungspolitische Orientierung an den USA gilt es systematisch zu erforschen und zu vertiefen. Schließlich ist ein grundlegendes Defizit an historisch fundierten Studien festzustellen, die zum Verständnis gegenwärtiger Problemkonstellationen von Wissenschaft und Technik beitragen. Dies trifft insbesondere auf Zukunftstechnologien und Forschungsfelder zu, die ähnlich wie die Nanotechnologie mit großen gesellschaftlichen und forschungspolitischen Erwartungen einhergehen, wie etwa die synthetische Biologie, Robotik oder Informationstechnologien.

---

nehmens. München 2006, 2 Bde.; Kamp, Michael: Die Geschichte der Physik an der Ludwig-Maximilians-Universität München. München 2002; Kraus, Elisabeth (Hg.): Die Universität München im Dritten Reich. Aufsätze. Teil I. München 2006; Kraus, Elisabeth (Hg.): Die Universität München im Dritten Reich. Aufsätze Teil II. München 2008.

**126** | Paletschek, Sylvia: Stand und Perspektiven der neueren Universitätsgeschichte. In: *NTM Zeitschrift für die Geschichte der Wissenschaften, Medizin und Technik* 19 (2011), S. 171. Vgl. Grüttner, Michael u.a. (Hg.): *Gebrochene Wissenschaftskulturen. Universität und Politik im 20. Jahrhundert*. Göttingen 2010.

**127** | Allein Cyrus Mody and Hyngsub Choi haben die Nanotechnologie im Rahmen einer „longue durée der Mikroelektronik“ betrachtet. Choi, Hyngsub; Mody, Cyrus: *The Long History of Molecular Electronics. The Microelectronics Origins of Nanotechnology*. In: *Social Studies of Science* 39 (2009) H. 1, S. 11-50.



## Aufbau

Das erste Kapitel argumentiert einleitend für eine historische Herangehensweise an Zukunftstechnologien. Angesichts der einflussreichen Mythen, Bilder und Erzählungen, die die öffentliche Wahrnehmung der Nanotechnologie bestimmen, gilt es kritisch nach vergleichbaren älteren Mustern und Pfaden zu fragen, um Kontinuitäten und Wandel dieser Forschungs- und Innovationsfelder zu verstehen.

Im zweiten Kapitel wird die forschungspolitisch motivierte Nanotechnologieinitiative vor dem Hintergrund historischer Problemkonstellationen betrachtet. Die 1990er Jahre stellten aus deutscher Sicht eine Krisensituation dar, auf die die Forschungspolitik versuchte, strategisch zu antworten. Das Ende des Kalten Krieges und Globalisierungsprozesse hatten unmittelbare Auswirkungen auf das nationale Innovationssystem, das in den 1990er Jahre in eine Strukturkrise geriet. Auch die Unterfinanzierung der Universitäten wirkte sich auf Karrierechancen und Forschungsmöglichkeiten von Physikern aus. Ferner machte der Siegeszug der Lebenswissenschaften eine Neuorientierungen der Physik notwendig.

In welchem Bezug diese politisch motivierte Initiative zur Münchner Wissenschaftslandschaft steht, wird im dritten Kapitel untersucht. Dabei geht es insbesondere um Traditionen und Entwicklungslinien der experimentellen Halbleiterphysik, die sich seit den langen 1970er Jahren mit quantenphysikalischen Phänomenen befasst. Dieses Feld stand in enger Verbindung mit der Halbleiterindustrie und weist direkte Kontinuitäten zur nanotechnologischen Forschung in den 1990er Jahren auf. Neu für diese Forschungskultur ist jedoch der Öffnungsprozess zu den Lebenswissenschaften.

Im vierten Kapitel werden die Forschungspraxis der Nanotechnologie und die hierbei relevanten instrumentellen Praktiken am Beispiel des *Rastertunnelmikroskops*, der *Molekularstrahlepitaxie* sowie der Konstitution nanotechnologischer Objekte betrachtet. Von besonderem Interesse ist hierbei die Frage, ob es sich dabei um eine Technoscience handelt, die nicht mehr auf neue theoretische Einsichten und grundlegendes Wissen über Naturprozesse, sondern auf deren technische Kontrolle und die dazu notwendigen Fertigkeiten abzielt.

Die Analyse der Medialisierungsstrategien der Nanowissenschaftler im fünften Kapitel ist im Rahmen eines generellen Medialisierungstrends der Wissenschaften zu betrachten. Das Münchner Fallbeispiel unterstreicht die ausdifferenzierten Medialisierungsstrategien, mit denen sich Wissenschaftler in der Öffentlichkeit positionieren.

Die im Nanodiskurs betonte Technikorientierung ist jedoch nicht automatisch gleichzusetzen mit Innovationsprozessen, die im sechsten Kapitel untersucht werden. Dies verdeutlicht die exemplarische Betrachtung von Firmenausgründungen an Münchner Universitäten.