

# Technikfolgenabschätzungen zur Nanotechnologie: Roadmapping als neues Instrument

U. Fiedeler, T. Fleischer, M. Decker, ITAS

## Nanotechnologie als Gegenstand von Technikfolgenabschätzung

Zukünftigen technischen Entwicklungen, die auf Nanotechnologie basieren, wird ein bedeutender Einfluss auf viele, wenn nicht gar auf alle wesentlichen gesellschaftlichen Bereiche zugeschrieben. Einige Wissenschaftler gehen davon aus, dass er mit dem Einfluss der Mikroelektronik – basierend auf der Halbleitertechnik und der Erfindung des Transistors – verglichen werden kann. [1]. Dem entsprechend wird der Nanotechnologie auch von politischer und ökonomischer Seite eine große Bedeutung zugesprochen, was sich in den beachtlichen Summen, die bereits in Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet investiert werden, zeigt. Die Nanotechnologie wird aber nicht nur in Fachkreisen diskutiert. Die Medien haben sich bereits seit einiger Zeit dieses Themas angenommen [2-4] und tragen erheblich dazu bei, die Bilder und Visionen der Nanotechnologie zu gestalten. Dabei neigen sie dazu, vor allem Extrempositionen aufzugreifen. Zugleich lassen sich im Rahmen der Wissenschaftskommunikation selbst besonnene Forscher zu manchen Superlativen hinreißen. Aus all dem hat sich eine bunte Gemengelage aus Visionen, Erwartungen, Hoffnungen und Befürchtungen ergeben, die im öffentlichen und politischen Raum viele Fragen provoziert.

Da oftmals lediglich eine Größenangabe, das Nanometer, als wesentliches charakterisierendes

Element der Nanotechnologie angesehen wird [5, 6], findet sich hinter dem Begriff der Nanotechnologie eine Vielzahl höchst unterschiedlicher Konzepte, Forschungsvorhaben und Anwendungsideen. Die daraus resultierende Heterogenität und Diversität der Nanotechnologie haben aber Konsequenzen für Analyse und Diskussion der ökonomischen, ökologischen und sozialen Implikationen der Nanotechnologie und sind letztlich wichtige Gründe für die Wahl des unten vorgestellten Ansatzes [7, 8]. So sind beispielsweise die ökonomische Bedeutung oder die ökologischen Folgen der Nanotechnologie wohl kaum sinnvoll abzuschätzen [9]. Eine aussagefähige wissenschaftliche Folgenforschung kann nur für eine konkrete Nanotechnik in deren Anwendungszusammenhang erfolgen.

Ein zweiter Aspekt der Nanotechnologie, der für die Technikfolgenabschätzung eine Herausforderung darstellt, ist die Tatsache, dass sich die verschiedenen Nanotechniken auf einem sehr unterschiedlichen Entwicklungsstand befinden [10]. Neben einigen konkreten Anwendungen, die sich bereits in der Phase der Markteinführung befinden, sind viele Konzepte noch weit von der Realisierung entfernt. Dieses frühe Stadium der Entwicklung birgt methodische Herausforderungen, macht andererseits die Nanotechniken auch für die Technikfolgenabschätzung interessant. Es bietet die Chance, ein noch junges Technikgebiet entwicklungsbegleitend zu erforschen. Es gilt, frühzeitig sowohl die Chancen der Nanotechnolo-

gie zu erkennen, um ihr Anwendungspotential ausschöpfen zu können, als auch Entwicklungshemmnisse und unerwünschte (Spät-)Folgen zu identifizieren.

Seitens des Forschungszentrums Karlsruhe wird dieser Aufgabe seit einigen Jahren nachgekommen. Im Rahmen des Programms NANO soll dies intensiviert und die Aktivitäten der verschiedenen Institute stärker miteinander verzahnt werden. Die im letzten Jahr ins Leben gerufene Veranstaltungsreihe „NanoVision“ widmete sich zunächst Fragen der Toxizität von Nanopartikeln [11] und wird in diesem Jahr um die Diskussion von Risikowahrnehmung und Risikokommunikation zur Nanotechnologie erweitert.

## Motivation des Roadmapping-Ansatzes für die Technikfolgenabschätzung

Nanotechniken werden häufig als „enabling technologies“ charakterisiert. Dies bedeutet, dass nicht die Nanotechniken selbst einen unmittelbaren Produktbezug haben, sondern dass durch Nutzung dieser oder jener Nanotechnik eine Vielzahl von ganz unterschiedlichen Produkten mit unterschiedlichen Handlungszusammenhängen realisiert werden kann. Die Potenziale von neuen Technologien – wie auch ihre Folgen – können aber erst dann analysiert werden, wenn konkrete Produkte und Dienstleistungen sowie deren Anwendungskontexte bekannt sind. Für „enabling technologies“ ist ein solcher Zusammenhang deshalb zunächst in strukturierter und in seinen Er-

gebissen belastbarer Form herzustellen. Es müssen erst Voruntersuchungen bezüglich möglicher Anwendungen und der daraus resultierenden Produkte durchgeführt werden. Da zudem weite Teile der Nanotechniken bisher nur als Visionen und Forschungsvorhaben existieren, sind Wege zu finden, die Verknüpfung von heutiger Forschung mit visionären Anwendungsmöglichkeiten bereits in der Frühphase der Technikentwicklung, also noch vor der konkreten Ausgestaltung vermarktbarer Produkte und Verfahren, herzustellen. Diese Verknüpfung ist eine essenzielle Voraussetzung für eine daran anschließende umfassende Technikfolgenabschätzung.

Eine Möglichkeit, diese oben beschriebene Verknüpfung herzustellen, könnte aus unserer Sicht daraus erwachsen, sogenannte Roadmapping-Verfahren zu nutzen und für diese Zwecke zu adaptieren.

Dabei existiert keine Standarddefinition von „roadmap“ oder „roadmapping“. Nach Kostoff und Schaller [12] ist eine roadmap „generically (...) a layout of paths or routes that exists (or could exist) in some particular geographical space. ... (It) serves as a traveler's tool that provides essential understanding, proximity, direction, and some degree of certainty in travel planning.“ Robert Galvin [13] beschreibt eine „roadmap“ als „an extended look at the future of a chosen field of inquiry composed from the collective knowledge and imagination of the brightest drivers of change in that field. Roadmaps

*can comprise statements of theories and trends, the formulation of models, identification of linkages among and within sciences, identification of discontinuities and knowledge voids, and interpretations of investigations and experiments. ... Roadmaps communicate visions, attract resources from business and government, stimulate investigations and monitor progress. They become the inventory of possibilities for a particular field ...“.*

Für unsere Zwecke kann „roadmapping“ als Dachbegriff für eine Gruppe von Verfahren verstanden werden, die die Strukturierung von komplexen interdependenten Prozessen unterstützen und als Entscheidungshilfe für Strategiefindung und Planung in Wissenschaft und technischer Entwicklung tätigen oder davon abhängigen Organisationen dienen soll.

Unter der großen Zahl von Roadmapping-Verfahren [14] sind die des Technology Roadmappings die mit der längsten Geschichte. Sie wurden Mitte der achtziger Jahre für die strategische Investitionsplanung für die Industrie entwickelt [15]. Ihr wesentliches Charakteristikum ist, dass neben der technischen Expertise des Unternehmens verstärkt die Marktbedingungen in den Entwicklungsprozess integriert und innerbetriebliche Kompetenzverflechtungen verdeutlicht und ggf. visualisiert werden. Dies wird unter anderem dadurch erreicht, dass an der Entwicklungsplanung bereits zu Beginn Mitarbeiter der verschiedenen Abteilungen beteiligt werden [16].

### Eine mögliche Umsetzung im Kontext von Forschungsorganisationen

Unter einer Roadmap kann man sich in erster Näherung eine Art Karte vorstellen, auf der technische „Wege“ eingezeichnet sind, die bei der Entwicklung eines neuen Produktes beschriftet werden können. Zusätzlich sind auch die Hindernisse – etwa derzeit noch nicht erreichte technische Parameter – vermerkt, die entlang der Entwicklungspfade zu überwinden sind.

Im Grundsatz sind zwei verschiedenen Vorgehensweisen möglich. Einerseits kann man von den in einem Bereich derzeit bestehenden Forschungsergebnissen ausgehen und daraus ein anwendungsnahe Eigenschaftsprofil – z.B. für ein neues Material – zusammenzustellen. Als Beispiel seien Nanocoatings auf der Basis von Carbiden genannt. Bei geschickter Prozeßführung ist es möglich, die Eigenschaften extremer Härte bei guter Haftung und einem niedrigen Reibungskoeffizienten mit guter Biokompatibilität und Transparenz im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums zu vereinen und das auch noch bei moderaten Prozesstemperaturen. Im zweiten Schritt gilt es nun zu ermitteln, welche Anwendungen mit diesem Material realisiert werden könnten (vgl. Abb. 1). Die andere Vorgehensweise besteht darin, eine bereits existierende Vision oder eine noch zu entwickelnde Vision einer Anwendung aufzugreifen und zu untersuchen, welche technischen

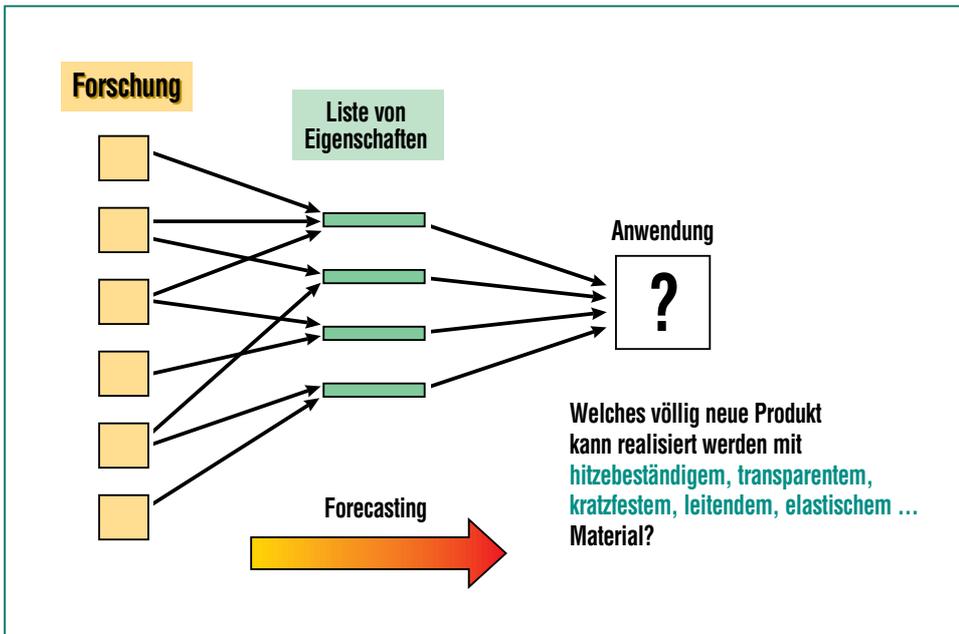


Abb. 1: Eine Herangehensweise, die im Rahmen des Roadmapping-Prozesses verfolgt wird, ist, von den derzeitigen Forschungsaktivitäten auszugehen und zu fragen, welche Eigenschaften mit diesem Wissen gezielt eingestellt und welche Anwendungen mit diesen Eigenschaften realisiert werden können.

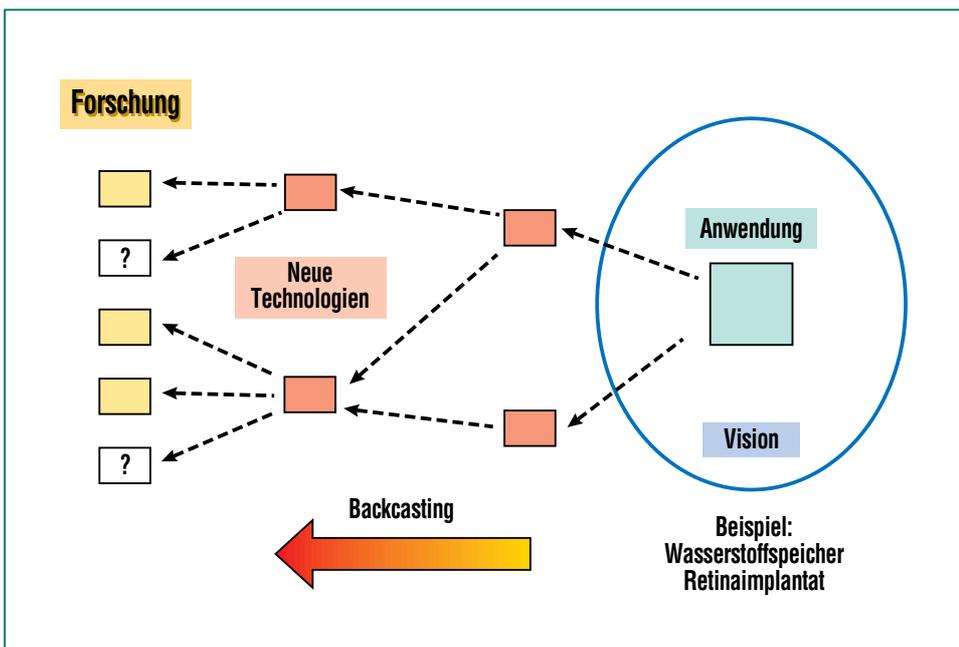


Abb. 2: Eine zweite Herangehensweise des Roadmapping-Prozesses ist es, von einer ausgewählten Anwendung auszugehen und zu fragen, welche technologischen Voraussetzungen diese verlangt und welche Forschungsergebnisse für die Realisierung dieser Technologie noch fehlen.

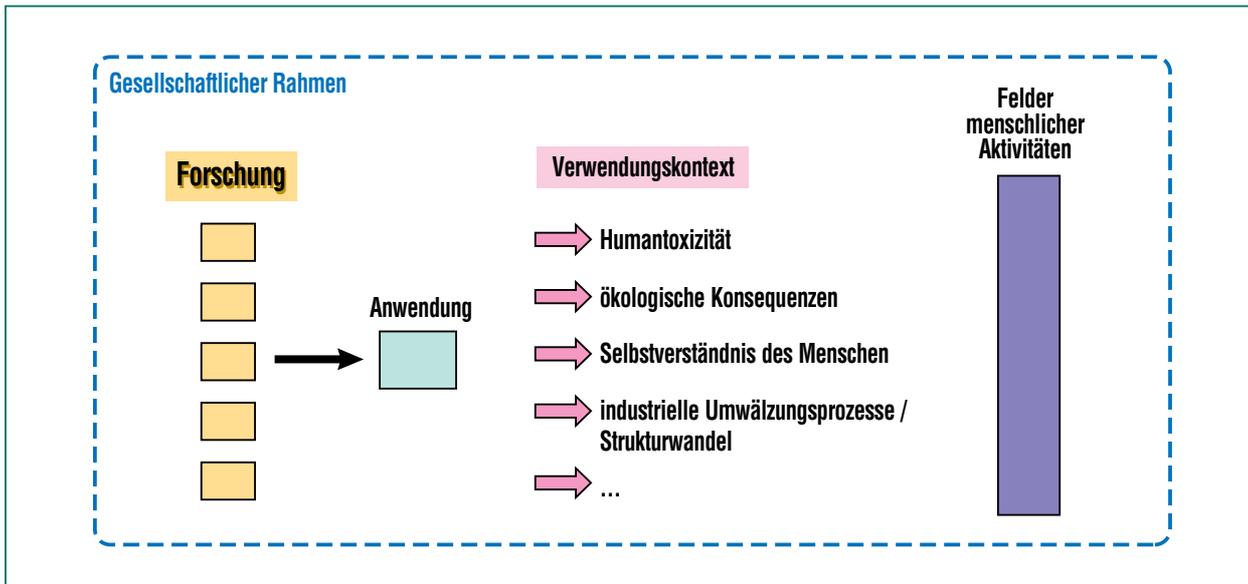
Schwierigkeiten und welche noch zu erbringenden Forschungsergebnisse der Realisierung dieser Vision im Wege stehen (vgl. Abb. 2.).

Das Team zur Erstellung der Roadmap wird entsprechend der zu untersuchenden Nanotechniken ausgewählt. Dabei wird es im Allgemeinen für beide Vorgehensweisen notwendig sein, ein interdisziplinäres Expertenteam aus Forschern verschiedener Institute zusammenzustellen. Darüber hinaus könnten – wenn erwünscht – auch potentielle Anwender beteiligt werden. Denkbar ist es z.B., wenn es um die Ausarbeitung einer Anwendungsvision im medizinischen Bereich geht, auch die Perspektive möglicherweise betroffener Patienten zu integrieren.

Ein konkreter Roadmapping-Prozess kann sich vieler etablierter Methoden bedienen, die die Kommunikation aller wissenschaftlicher Disziplinen beziehungsweise aller Beteiligten ermöglichen, wie Expertenworkshops oder Experteninterviews, SWOT-Analyse<sup>1)</sup>, Zukunftswerkstätten oder Szenariobuilding. Auf diese Weise können viele verschiedene Perspektiven in den Prozess integriert werden. „Nebenbei“ wird dadurch der Wissensaustausch der Forscher untereinander, sowohl über die Grenzen der Disziplinen, als auch über die Grenzen der Forschung selbst, unterstützt.

Als Ergebnis dieses Roadmapping-Prozesses erhält man eine wissenschaftlich fundiertere Aus-

<sup>1)</sup> SWOT steht für Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats



**Abb. 3: Erst die Identifizierung der Anwendungen von Forschung in Form von Produkten, Dienstleistungen und Verfahren mit Hilfe des Roadmapping-Prozesses, erlaubt es, den Anwendungskontext zu analysieren und Potenziale und mögliche Folgen der Anwendung zu identifizieren.**

sage über das Anwendungspotential und die Realisierungsmöglichkeit einer speziellen Anwendung von Nanotechnik. Diese kann dann – unter anderem – als Voruntersuchung für eine Technikfolgenabschätzung dienen. Die eigentliche Folgenanalyse wird erst nach Beendigung des Roadmappings durchgeführt (Abb. 3). Anhand der begründeten Identifikation von Anwendungen bestimmter Forschungsaktivitäten kann über die gesellschaftliche Bedeutung dieser Anwendungen reflektiert werden. Erst dann können Fragen nach Problemlösungspotenzialen, nach Chancen und damit verbundenen Problemen und Risiken sinnvoll beantwortet werden.

Derzeit arbeitet die Arbeitsgruppe Nano des ITAS daran, den hier vorgestellten Ansatz in der Praxis zu erproben. Resultate, die für die

Technikfolgenabschätzung erwartet werden, sind:

- die Verknüpfung von Themen der nanotechnologiebezogenen Forschung und Entwicklung mit konkreten Ideen für Anwendungen und Produkte. Auf diese Weise kann ein Bezug zwischen „Nano“, „Technik“ und „Folgenabschätzung“ hergestellt und die Nanotechniken somit der Technikfolgenabschätzung zugänglich gemacht werden.
- die Strukturierung des breiten Untersuchungsfeldes der Nanotechniken (sowohl thematisch als auch was den Zeithorizont der Entwicklungen anbelangt).

Für die beteiligten Wissenschaftler werden folgende Vorteile durch das Roadmapping-Projekt erwartet:

- die Erkenntnis von relevanten Forschungsfragen im eigenen Bereich, sowie anders herum die Entdeckung neuer Anwendungsfelder für die eigenen Forschungsergebnisse und
- einen effektiveren Einsatz der vorhandenen Ressourcen auf Grund der Analyse des eigenen Portfolios und seinem Zuschnitt auf die angestrebten Forschungsaktivitäten.

## Literatur

- [1] „The impact of nanotechnology on health, wealth, and the standard of living for people will be at least the equivalent of the combined influences of microelectronics, medical imaging, computer-aided engineering, and man made polymers in this century“ Nobelpreisträger Richard Smalley am 22. Juni 1999 vor dem amerikanischen Kongress ([http://www.house.gov/science/smalley\\_062299.htm](http://www.house.gov/science/smalley_062299.htm), zuletzt abgerufen am 6.9.2004)
- [2] B. Joy,  
*Wired*, April 2000, S. 238-262
- [3] T. Vasek,  
*Die Zeit*, 23. November 2000, S. 17
- [4] F. Schirmacher (Hrsg.),  
*Die Darwin AG, Wie Nanotechnologie, Biotechnologie und Computer den neuen Menschen träumen*, Kiepenheuer & Witsch, Köln, (2001)
- [5] G. Schmidt, M. Decker, H. Ernst, H. Fuchs, W. Grünwald, A. Grunwald, H. Hofmann, M. Mayor, W. Rathgeber, U. Simon, D. Wyrwa, *Small Dimensions and Material Properties, A Definition of Nanotechnology*, Graue Reihe Nr. 35, Europäische Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH (2003)
- [6] M. Decker, U. Fiedeler, T. Fleischer, *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, Heft 2, S. 10, (2004).
- [7] U. Fiedeler, T. Fleischer, M. Decker, *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, Heft 2, S. 65, (2004).
- [8] T. Fleischer, M. Decker, U. Fiedeler, *Technological Forecasting and Social Change* 72(2005), in press
- [9] T. Fleischer,  
*In: R. Coenen, A. Grunwald, (Hrsg.), Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland. Analyse und Lösungsstrategien*, edition sigma, Berlin: 2003, S. 356-373
- [10] H. Paschen, C. Coenen, T. Fleischer, R. Grünwald, D. Oertel, C. Revermann, *Nanotechnologie in Forschung, Entwicklung, Anwendung. Stand und Perspektiven*. Springer Verlag, Berlin (2004)
- [11] U. Fiedeler, T. Fleischer, M. Decker, *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, Heft 1, S. 121, (2004).
- [12] R.N. Kostoff, R.R. Schaller, *IEEE Transactions on Engineering Mgmt.* 48, S.132, (2001)
- [13] R. Galvin,  
*Science* 280, S. 803, (1998)
- [14] J. D. Linton, S. T. Walsh,  
*Technological Forecasting and Social Change* 71 S.1 (2004)
- [15] P. Groenveld,  
*Research Technology Management*, 40, S.48, (1997).
- [16] O. Bray, M. L. Garcia,  
*Technology Roadmapping: The Integration of Strategic and Technology Planning for Competitiveness*, Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), 27-31st July (1997)