

Bernd Meier

# Nanotechnik

Sozioökonomische Dimensionen  
einer Schlüsselinnovation

# Analysen

Forschungsberichte  
aus dem Institut der deutschen Wirtschaft Köln

Bernd Meier

## Nanotechnik

Sozioökonomische Dimensionen  
einer Schlüsselinnovation

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek.**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-602-14834-9 (Druckausgabe)  
978-3-602-45450-1 (PDF)

**Der Autor**

Dr. rer. soc. **Bernd Meier**, geboren 1944 in Thorn; Studium der Sozialwissenschaften an den Universitäten Bochum und Göttingen, Promotion in Bochum; seit 1979 im Institut der deutschen Wirtschaft Köln, Arbeitsbereich Sozialer und technischer Wandel innerhalb des Wissenschaftsbereichs Wirtschaftspolitik und Sozialpolitik.

Herausgegeben vom Institut der deutschen Wirtschaft Köln

© 2009 Deutscher Instituts-Verlag GmbH  
Gustav-Heinemann-Ufer 84–88, 50968 Köln  
Postfach 51 06 70, 50942 Köln  
Telefon 0221 4981-452  
Fax 0221 4981-445  
[div@iwkoeln.de](mailto:div@iwkoeln.de)  
[www.divkoeln.de](http://www.divkoeln.de)

Druck: Hundt Druck GmbH, Köln

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Die Bedeutung von Innovationen für die sozioökonomische Evolution</b>	<b>6</b>
2.1	Neue Technologien und wirtschaftliche Entwicklung	6
2.2	Nanotechnik als Schlüsseltechnologischer Innovation	12
2.3	Was bedeutet und charakterisiert die Nanotechnik?	15
<b>3</b>	<b>Die internationale Rivalität um die Nanotechnik</b>	<b>25</b>
3.1	FuE-Investitionen als Innovationstreiber	26
3.2	Entwicklung des internationalen Nanopatent- und Publikationsaufkommens	34
<b>4</b>	<b>Sozioökonomische Entwicklungsimpulse der Nanotechnik</b>	<b>39</b>
4.1	Unternehmensgründungsdimension	40
4.2	Anwendungsdimension	43
4.3	Marktpotenzialdimension	47
4.4	Arbeitsplatzdimension	52
4.5	Qualifizierungsdimension	54
<b>5</b>	<b>Soziale Akzeptanz, Chancen und Risiken der Nanotechnik</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>74</b>
	<b>Literatur</b>	<b>77</b>
	<b>Kurzdarstellung / Abstract</b>	<b>88</b>

# 1

## Einleitung

Der technische Fortschritt zählt in der Volkswirtschaftslehre zu den entscheidenden Determinanten langfristigen Wirtschaftswachstums moderner Gesellschaften (Solow, 1956 und 1957). Nach der Hypothese des „Technology Gap“ (Posner, 1961) können technologische Vorsprünge Volkswirtschaften und Unternehmen temporäre Wettbewerbsvorteile sowie einen leichteren Eintritt in Auslandsmärkte ermöglichen (komparative Vorteile). Dies gilt besonders für die Beherrschung sogenannter Schlüsseltechnologien und daraus resultierender Basisinnovationen.<sup>1</sup> Mitte der 1970er Jahre wurde die wirtschaftliche Stagnation sogar auf einen Mangel an „Basisinnovationen“ zurückgeführt (Mensch, 1975).

Es ist deshalb evident, dass besonders im Zuge der Globalisierung der Wirtschaft die Unterstützung einer raschen Entwicklung und Umsetzung technologischer Inventionen in Innovationen gefordert wird. Dies trifft in erster Linie auf solche Techniken zu, aus denen sich neue Basisinnovationen entwickeln könnten. Die Chancen Deutschlands werden daher auch besonders in der Entwicklung von spitzentechnologischen Gütern<sup>2</sup> gesehen; doch Deutschland ist bei ihrer Umsetzung in marktfähige Produkte international oft noch Mittellaß, so die Expertenkommission für Forschung und Innovation (EFI) in ihrem Bericht für die Bundesregierung (EFI, 2008, 68).

Zu den erfolgversprechenden neuen Spitzentechnologien im Hinblick auf Wachstum und Wohlstand wird heute unter anderem die Nanotechnologie (-technik) gezählt, um die gegen Ende der 1990er Jahre nicht nur ein internationaler Förder- und Innovationswettbewerb, sondern auch ein intensiver Dialog über Chancen und Risiken eingesetzt hat. Hierbei handelt es sich um einen Sammelbegriff für Techniken, die sich mit Strukturen und Prozessen auf der sogenannten Nanometerskala ( $< 100$  Nanometer) beschäftigen.

Zur Novität der Nanotechnik und ihrer ökonomischen Bedeutung gibt es differenzierte Einschätzungen: „Dennoch scheint mir auch in Deutschland insbesondere die öffentliche Präsentation und Wahrnehmung der Nanotechnologie vor

---

<sup>1</sup> Im Folgenden werden der Einfachheit halber die Begriffe Schlüsseltechnologien und schlüsseltechnologische Innovationen synonym verwendet. Das Gleiche gilt für die Begriffe Technik und Technologie. Die im Rahmen dieses Beitrags ferner dargelegten technisch-naturwissenschaftlichen Sachverhalte erheben nicht den Anspruch auf technisch-naturwissenschaftliche Genauigkeit und Vollständigkeit.

<sup>2</sup> Hierunter werden FuE-intensive Waren verstanden, „bei deren Herstellung jahresdurchschnittlich mehr als 7 Prozent des Umsatzes für Forschung und Entwicklung aufgewendet werden“ (EFI, 2008, 19); davon zu unterscheiden sind Waren der „hochwertigen“ Technologie, die mehr als 2,5 bis zu 7 Prozent des Umsatzes für FuE beinhalten.

allem durch ein Übermaß an Popularisierung und eine zu starke Betonung der großen ökonomischen Chancen bestimmt zu sein“ (Woyke, 2007, 336). Nach Hartmann (2006, 7) handelt es sich in diesem Zusammenhang nicht „um eine abrupt durch einen Technologiesprung entstandene neue Miniaturisierungsmöglichkeit“; ihre faktische Bedeutung werde häufig sowohl über- wie auch teilweise unterschätzt.

Gegenstand des vorliegenden Beitrags – im Sinne einer innovationsunterstützenden Kommunikation – ist die Frage, ob die Nanotechnik nur als eine kurzfristige Mode zu begreifen ist oder es sich hierbei letztlich um einen weiteren Technologie Kandidaten im Sinne einer Schlüsseltechnologischen Invention mit basisinnovatorischem Potenzial zur Stützung einer „langen Welle“ (Kondratieffzyklus) handelt. Inzwischen hat sie unbemerkt bereits vielfach Einzug in den Alltag gehalten. Als Beispiel sei hier nur der Lotus-Blüten-Effekt bei Beschichtungen genannt.

Um die verschiedenen Dimensionen der Nanotechnik aufzuzeigen, gliedert sich dieser Beitrag in die folgenden Kapitel:

Kapitel 2 zeigt einleitend die Grundidee „langer Wellen“ nach Nikolai D. Kondratieff und Joseph A. Schumpeter und damit die Bedeutung von Innovationen für die ökonomische Entwicklung auf. Es geht ferner auf gegenwärtige Einschätzungen der Nanotechnik ein. Darüber hinaus werden ihre real-technische Genese wie auch die zivilisatorischen und ökonomischen Implikationen als einer weiteren Etappe des technischen Fortschritts im Sinne neuer (technischer) Machbarkeiten dargelegt, die ihre Schlüsseltechnologischen Wirkungen ausmachen können.

Kapitel 3 befasst sich mit Indikatoren ihrer (internationalen) Förderung und Entwicklung (öffentliches und privates Förderaufkommen, Patentierung) in Form eines gestrafften Überblicks, um die internationale Rivalität bezüglich dieser Technologie zu untersuchen.

Kapitel 4 beschäftigt sich beispielhaft mit der Gründungsdimension, den pluralen Anwendungsdimensionen, den Markt- und Arbeitsplatzperspektiven und der Qualifizierungsdimension, welche mit der Nanotechnologie verbunden werden und die auf ihren Schlüsseltechnologischen Charakter für eine lange Welle hindeuten könnten.

Kapitel 5 untersucht Bekanntheit und soziale Akzeptanz dieser Technik und beschäftigt sich in gebotener Kürze mit der Nanotechnik als Gegenstand der modernen Ethik- und Risikodebatte.

Kapitel 6 unternimmt in Form einer Zusammenfassung den Versuch, die Ausgangsfrage – kurzfristige Mode oder Schlüsseltechnologie? – zu beantworten.

# 2

## Die Bedeutung von Innovationen für die sozioökonomische Evolution

Auf die häufig gestellte Frage, wovon Wirtschaft und Gesellschaft morgen leben werden, lässt sich vielfältig antworten. Ganz generell gehören dazu im technischen Zeitalter vor allem weitere technische Inventionen und Innovationen. Welche dann wirklich zum Durchbruch kommen und die wirtschaftliche Entwicklung vorantreiben, ist jedoch kaum vorhersehbar. Prognosen zu Technologien, welche die Zukunft bestimmen werden, sind meist mit großen Unsicherheiten behaftet: Überprüfungen ergaben dabei eine Treffsicherheit von etwa 30 Prozent (Ulrich, 1980).

Dies trifft auch auf die Voraussage sogenannter Schlüsseltechnologien oder Basisinnovationen zu. Gerade sie gelten aber als wichtige Treiber für die gesamtwirtschaftliche und -gesellschaftliche Entwicklung. Umso nützlicher wäre es, ex ante bereits sagen zu können, welche Erfindungen sich einmal zu sozioökonomisch entscheidenden Innovationen entwickeln und der modernen Gesellschaft weitere Lebensgrundlagen bieten könnten. Schon oft in der Technikgeschichte lagen aber (zumindest populäre) Technikvoraussagen daneben, denn die Zukunft ist keine lineare und strukturelle Fortschreibung der Vergangenheit. So wird berichtet, dass der ehemalige IBM-Chef Thomas Watson 1943 geglaubt haben soll, weltweit werde es nur einen Bedarf an vielleicht fünf Computern geben. Vom Physiker Lord Kelvin wurde 1895 die Möglichkeit des Fliegens mit Maschinen, die schwerer als Luft sind, ebenso verneint wie von anderen die Zukunft des Radios, des Fernsehens, der Compact Disc (CD); die Mondlandung oder auch die Entwicklung der Kernenergie wurden angezweifelt. Selbst der Erfolg des Automobils oder gar des Telefons wurde zunächst alles andere als aussichtsreich eingestuft. Doch all die einst in ihrer Bedeutung bezweifelten Innovationen sollten später Wirtschaft und Gesellschaft in ihrer Entwicklung entscheidend beeinflussen. Aus der Sicht übergreifender Wirkungen vieler technologischer Innovationen wurde die menschliche Geschichte auch als eine „Geschichte des technischen Fortschritts“ (Popitz, 1995) aufgefasst. In Anlehnung an Schumpeter ließe sie sich letztlich als Prozess „kreativer Zerstörung“ auffassen.

### 2.1 Neue Technologien und wirtschaftliche Entwicklung

So werden langfristige wirtschaftliche Wachstums- und Entwicklungszyklen („lange Wellen“) häufig mit entscheidenden (technischen) Innovationen, sogenannten Basisinnovationen, in Verbindung gebracht. Was sind Basisinnovationen?

Der Innovationsforscher Gerhard Mensch (1975, 54 ff.) unterscheidet Basisinnovationen von Verbesserungsinnovationen: Basisinnovationen führen zur Eröffnung eines neuen Weges, einer neuen Arbeitsweise oder Technologie, also eines neuen Tätigkeitsbereichs, der für eine große Gruppe von Menschen Beschäftigung schafft. „Eine solche richtungsändernde Abweichung von der bisher üblichen Praxis nenne ich eine Basisinnovation“ (Mensch, 1975, 54). Bei Weiterentwicklungen auf bestehenden Gebieten handele es sich dagegen um „Verbesserungsinnovationen“; hierzu gehören „die Einführungen neuer Produkte, die den älteren ‚Jahrgängen‘ an Qualität, Verlässlichkeit, Konsumentenfreundlichkeit, Umweltschonung, Rohstoffverbrauch, Lohnkosten usw. überlegen sind. Und es sind die Anwendungen neuer Produktionsverfahren, die es gestatten, alte oder neue Produkte hochwertiger, verlässlicher, billiger oder einfach in größerer Menge herzustellen“ (Mensch, 1975, 55). Bei näherer Beschäftigung mit der Nanotechnik wird deutlich, dass zwischen Basisinnovation und Verbesserungsinnovation nicht klar unterschieden werden kann, sondern diese einander bedingen; denn es werden sowohl gänzlich neue als auch substituierbare Märkte durch Verbesserung des Bestehenden geschaffen. Die Nanotechnologie schafft als „neues“ Gebiet neue Investitionsmöglichkeiten und hungrige Märkte mit zunächst noch geringer Konkurrenz (siehe hierzu im Grundsätzlichen auch Mensch, 1975, 57).

Der Zukunftsforscher Leo A. Nefiodow (2001, 16 f.) versteht in Anlehnung an Schumpeter unter Basisinnovationen technische Neuerungen, die

1. aus vernetzten Technologien bestehen und in der Lage sind, Tempo und Richtung des Innovationsgeschehens für mehrere Jahrzehnte zu bestimmen,
2. das Wachstum der Weltwirtschaft aufgrund großer Knappheiten über mehrere Jahrzehnte entscheidend beeinflussen und
3. zu einer weitreichenden Reorganisation der Gesellschaft führen.

Mit ihnen gehen also erhebliche Umsätze, die Schaffung Millionen neuer Arbeitsplätze, große Produktivitätsverbesserungen und sozioökonomische Modernisierungsimpulse einher. „Innovationen, die diese umfassenden Wirkungen auslösen, werden ... Basisinnovationen genannt“ (Nefiodow, 2001, 15). Sie sind jedoch ebenso auf eine „Gründerwelle“ (Röpke, 2000) wie auch auf qualifiziertes Humankapital und gesellschaftliche Akzeptanz angewiesen.

Kondratieff war der bekannteste Ökonom, der in der Wirtschaftsgeschichte (1780 bis 1925) sogenannte lange Wellen der Konjunktur mit einer Zeitdauer zwischen 45 und 60 Jahren anhand der Überprüfung langer Reihen verschiedener ökonomischer Indizes (Preise und Produktionsziffern) aus mehreren Ländern ausmachte und die kapitalistische Dynamik unter anderem mit technischen Neuerungen in Verbindung brachte. Sie treten meist erst dann auf, wenn die Konjunktur