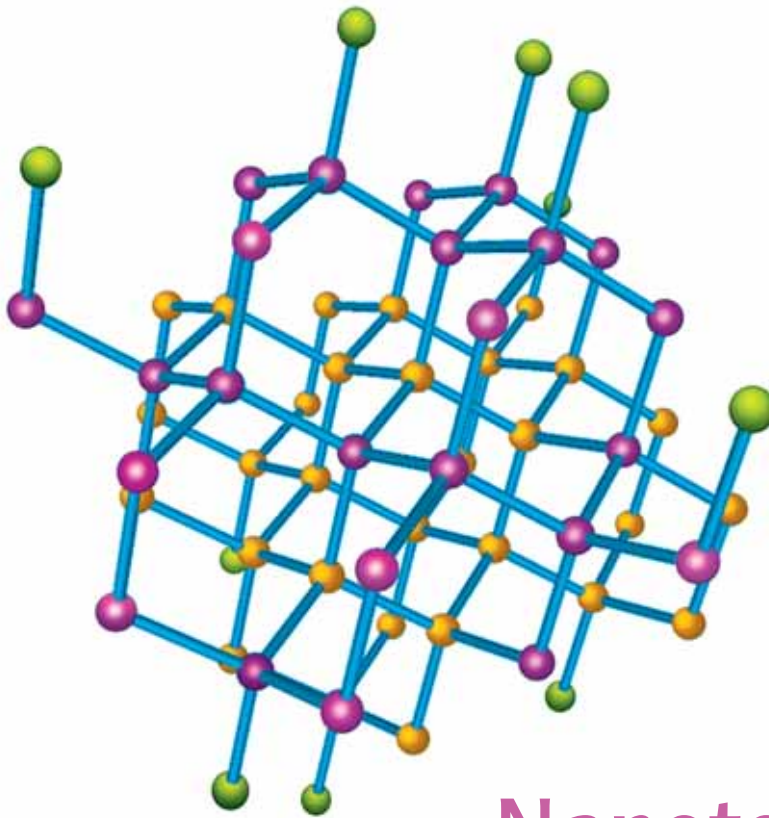


_____ A. Reller: Nanopartikel in der Umwelt _____
_____ P. Mooney: Ein technologischer Tsunami ___U. Lahl: Innovationsräume sichern _____
_____ A. Grobe: Bürger frühzeitig beteiligen _____

politische ökologie ¹⁰¹



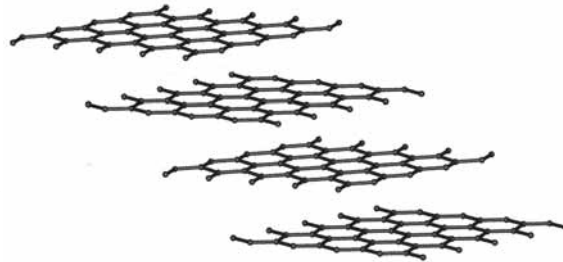
Nanotechnologie

Aufbruch ins Ungewisse



Nanotechnologie

Aufbruch ins Ungewisse



Elementarteilchen

8 Zukunftsmusik

Anwendungsfelder der Nanotechnologie

9 NanoSpeak – eine Einführung

Glossar

10 Ende im grauen Schleim?

Nanotechnologie in der Science-Fiction
Von Angela und Karlheinz Steinmüller

14 Im Reich des Allerkleinsten

Wie die Nanotechnologie unser Leben
verändern kann
Von Andrea Reiche

Nanorama

20 Die Welt als Baukastensystem

Denkmuster hinter der
Nanotechnologie
Von Alfred Nordmann

24 Verstreut in alle Winde

Nanopartikel in der Umwelt
Von Armin Reller

27 Nichts Ungeheuerliches

Aus ethischer Sicht
Von Armin Grunwald

30 Ein weißer Fleck auf der Nano-Landkarte

Geschlechterforschung
Von Petra Lucht

Nanopoly

34 Wettlauf um Märkte und Forschungsgelder

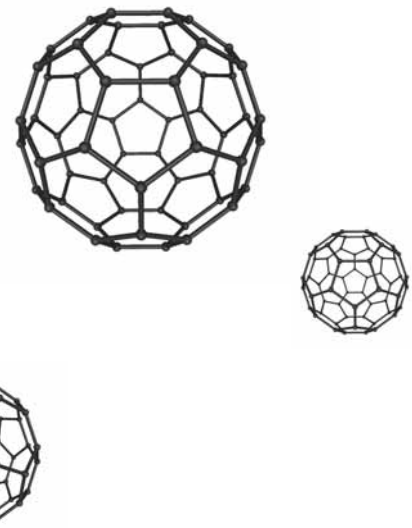
Potenziale für Umwelt und Wirtschaft
Von Ulrich Petschow

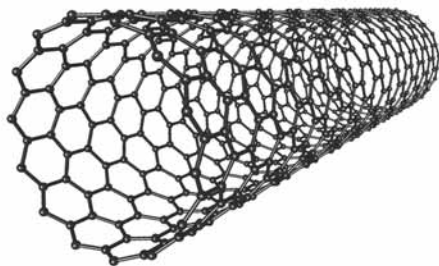
37 „Ein technologischer Tsunami kommt auf uns zu“

Globalisierungs- und Machtfragen
Interview mit Pat Mooney

41 Fortschritt der Ahnungslosigkeit

Chemie, Bio- und Nanotechnologie im
Gefährdungsvergleich
Von Arnim von Gleich





Nanolog

46 Harmonie auf Zeit

Nanotechnologie im Dialog

Von *Antje Grobe*

50 Innovationsräume mit einem

Risikoradar orten

Politische Regulierung I

Von *Uwe Lahl*

53 Globale und verbindliche Standards

Politische Regulierung II

Von *Petra Schaper-Rinkel*

Impulse

56 Projekte und Konzepte

Memorandum zur Nanotechnologie

Von *Patricia Cameron*

Herr und Frau Nachbar als Nanoexperten

Von *Silke Domasch*

Stakeholdertreffen beim Umweltminister

Von *Stefan Löchtfeld*

Von der Gen-Ethik lernen

Europa im Nanologue

Schöner mit Nano?

Was unter die Haut geht

Mit Nanoroboterarm Viertelmillion abgreifen

Forschung für den Mittelstand

Und die Arbeitssicherheit?

BMBF fördert Risikostudien

Lernstation „Mannometer: Nanometer!“

Kontrollverlust durch Nanobionik?

Rastertunnelmikroskop als Bastelsatz

60 Medien

Spektrum Nachhaltigkeit

64 Totgesagte leben länger

Der Zustand der Doha-Runde der

Welthandelsorganisation

Von *Daniel Mittler*

66 Gestaltungsaufgabe für den

Umweltschutz

Konsequenzen des demografischen Wandels

Von *Angelika Zahmt und Daniel Unsöld*

68 Megastädte – Megaherausforderungen

Nord-Süd-Süd-Partnerschaften für urbane

Entwicklungszusammenarbeit

Von *Günther Taube, Ulrich Nitschke*

und *Gerrit Peters*

70 Ein Plan für die Mächtigen

Der Plan Puebla-Panama

Von *Zwischenzeit e. V.*

Rubriken

3 Editorial

72 Reaktionen

73 Vorschau/Impressum

Die Welt als Baukastensystem

Von Alfred Nordmann

Die Halbleiterindustrie ist schon lange dem Miniaturisierungswahn verfallen. Neue Transistoren auf Computerchips sind so groß wie ein Influenzavirus. Hinter den einzelnen Trends in der Nanotechnologie stecken verschiedene Weltbilder. Eine technikphilosophische Skizze.

Das Beschreiben und Definieren der Nanotechnologie ist kein unschuldiges Unterfangen. Je nachdem, wie wir definieren, ergeben sich machtloses Staunen und hilflose Spekulation, kritische Distanz und politische Gestaltbarkeit. Und je nachdem, wie wir definieren, steht uns entweder eine Revolutionierung aller Lebenszusammenhänge bevor oder es geht um eine ganz gewöhnliche, trotzdem folgenreiche Modeerscheinung. Schließlich hängt von unserer Definition ab, ob wir es mit einer noch nicht absehbaren Zukunftstechnologie zu tun haben oder mit einer gegenwartsbezogenen Programmatik. Unschuldig ist auch keineswegs der normale Weg der Definition, erst einmal den kleinsten gemeinsamen Nenner nanotechnologischer Forschungen ausfindig zu machen. Dieser kleinste gemein-

same Nenner ist nämlich für unser Denken und Handeln immer noch viel zu groß. Dies gilt sogar für die enorme Anstrengung einer Arbeitsgruppe der Europäischen Akademie, diesen kleinsten Nenner möglichst klein zu halten. (1) In all diesen Definitionen wird nur der Gegenstand der Nanoforschung festgelegt. Nanotechnologie erscheint dann darüber hinaus als das schier unendliche Potenzial der Anwendungsmöglichkeiten, das sich aus diesem Gegenstandsbereich ergibt. (2)

So heißt es typischerweise, Nanotechnologie nutze Eigenschaften, die erst in der molekularen Größenordnung von 1 bis 100 Nanometern (10^9 bis 10^7 Metern) auftreten und sich von makroskopischen Erscheinungen unterscheiden. Als Beispiel wird gern Gold angeführt, dessen Farbe, dessen chemische Inaktivität und darum Gesundheitsverträglichkeit wohl bekannt sind. Wenn aber die chemische Zusammensetzung beibehalten und das Gold nur auf die Größe eines Nanopartikels verkleinert wird, verändern sich diese Eigenschaften. Nanotechnologie wäre nun all das, was sich derlei Veränderungen zunutze macht. Was könnte dies sein? Hier werden durch die Definition keine Grenzen gesetzt. Wenn Kohlenstoff-Nanoröhrchen interessante optische Eigenschaften besitzen, wären dann nicht ganz andere Computer denkbar, die nicht mehr binär elektronisch arbeiten, sondern mit dem Farbspektrum fotonisch? Wenn nanostrukturierte Fasern besonders leicht und stark sind, könnten wir nicht ein Seil aus ihnen winden, an-

dem ein Fahrstuhl in den Weltraum fährt? Wenn zu den neuen Eigenschaften die Selbstorganisationsprozesse der Natur gehören, können wir uns dann nicht Nanosysteme, sogar kleine Roboter vorstellen, die sich von selbst produzieren und reproduzieren?

Jenseits der Vorstellungskraft

Keine dieser hypothetischen Behauptungen ist völlig unsinnig, jede wird tatsächlich aufgestellt und noch viele andere mehr. Soll die Nanotechnologie nun die Summe all dieser Aussagen umfassen, so haben wir es mit fantastischen Möglichkeiten, aber auch beängstigenden Aussichten zu tun. So oder so staunen wir machtlos vor dem enormen Potenzial und suchen beispielhaft Orientierung an dieser oder jener Spekulation. So oder so trauen wir dann der Nanotechnologie alles zu und starren gebannt auf eine ferne oder nahe Zukunft, in der nichts so bleiben muss, wie es ist. Damit entzieht sich die Nanotechnologie der Vorstellungskraft, ist dem kritischen Denken und politischen Handeln nicht verfügbar. Sie bleibt ein Spielball vager Ahnungen. Wer gegenüber der Technik insgesamt positiv eingestellt ist, hat auch nichts gegen Nanotechnik, und wer gegenüber der technischen Entwicklung Vorbehalte hat, traut auch den nanotechnologischen Versprechungen nicht. (3) Nun lässt sich Nanotechnologie aber ganz anders definieren, nämlich als politisches Konstrukt, das heterogene Forschungsentwicklungen zusammenfasst. Natürlich haben diese Entwicklungen et-

was gemeinsam. Von allen wird die Erschließung neuer Märkte erwartet und alle manipulieren Eigenschaften oder Strukturen im Bereich von eins bis hundert Nanometern. Aber nicht auf diese Gemeinsamkeiten kommt es an, sondern auf die spezifischen Programme, die hier zusammenfließen. Zumindest lassen sich grob – wie im folgenden Überblick – vier nanotechnologische Ansätze oder Tendenzen unterscheiden.

Kleiner, schneller, billiger

Die erste dieser vier Tendenzen ist zugleich die bekannteste. Sie führt von der Mikro- zur Nanotechnologie. Als Triebkraft ist die scheinbar unaufhaltsame Miniaturisierungstendenz nicht zu unterschätzen. Hinter ihr steht nämlich ein Gesetz, das manch einer für ein Naturgesetz der Technikentwicklung halten will, das sich die Chiphersteller jedenfalls zur Zielvorgabe gemacht haben. Nach dem Mooreschen Gesetz soll sich die Technikentwicklung immer weiter beschleunigen, weswegen insbesondere die Halbleitertechnik in den Nanobereich vordringen muss. Dabei stößt sie an physikalische Grenzen, die neue nanotechnische Bausteine erforderlich machen. Die Vision einer molekularen Elektronik umfasst deshalb beispielsweise die Vorstellung eines Drahts, der aus einem einzigen Molekül besteht und den Durchmesser eines Atoms hat.

Ob sie sich als realisierbar erweist oder nicht, scheint diese Vision jedenfalls nur ein stereotypes Immer-Kleiner, Immer-Schneller und Immer-Billiger zu beschwören. Wenn hier etwas grundlegend Neues entstehen sollte, dann darum, weil die permanente Verkleinerung ja für etwas gut sein muss. Ganze Computer auf einem Chip, verteilte Prozessoren in intelligenten Umwelten, nicht mehr wahrnehmbare und mit der Luft eingeatmete Sensoren würden solche diskontinuierlichen Anwendungsfelder darstellen, die unser Selbst- und Weltverhältnis grundlegend verändern könnten. Tatsächlich mag gerade die nanotechnologische Fortführung der an sich langweiligen

Miniaturisierungstendenz den größten gesellschaftlichen Umbruch zeitigen.

Atom für Atom

Während die Miniaturisierungstendenz so bekannt klingt und schon so lange anhält, dass sie bereits als bescheidene Vision gelten kann, verdient das zweite nanotechnologische Programm eine ehrgeizige Überschrift wie die der „molekularen Weltgestaltung“. So trat die US-amerikanische National Nanotechnology

„Da unten ist jede Menge Platz“. Fast vierzig Jahre lang wurde er ignoriert, nachträglich gilt aber als visionär, wie Feynman die Möglichkeit beschreibt, einzelne Atome mithilfe eines Hebelsystems mechanisch zu bewegen. Auch Eric Drexler, der spekulativste und womöglich einflussreichste aller Nano-Visionäre, setzt auf die präzise Konstruktion von Gangschaltungen und Zahnrädern, die aus einzelnen Atomen willkürlich zusammengebaut werden sollen



– Diese Ameise trägt einen Chip, der gerade mal 11 mm² groß ist. Trotzdem ist dort Platz für 19 200 Funktionen; genug zum Radio hören. Die Halbleiterindustrie ist das Hauptanwendungsgebiet der Nanotechnologie.

Initiative 1999 mit der Broschüre „Shaping the World Atom by Atom“ („Die Welt Atom für Atom gestalten“) an die Öffentlichkeit. Für diese Vision der Nanotechnologie gilt, dass offiziell kein besonnener Forscher daran glaubt, dass sie im Hintergrund aber doch äußerst wirkmächtig ist.

Unglaublich ist diese Vision, weil es außerordentlich schwierig und auch nicht sonderlich effizient wäre, erst Moleküle und dann eine ganze Welt Atom für Atom zusammzusetzen. Und doch spielt diese Vision in die vier berühmtesten Gründungsmomente der Nanoforschung hinein. Da ist zunächst der 1959 von Richard Feynman gehaltene Vortrag

(vgl. S. 10 ff.). Obwohl sich die meisten Nanoforscher(innen) von Drexlers Vision distanzieren, halten sie die endlich gelungene willkürliche Bewegung einzelner Atome für den entscheidenden Durchbruch der Nanotechnologie. Er kam mit der Erfindung des Rastertunnelmikroskops und schließlich der legendären Buchstabierkunst Don Eiglers und Erhard Schweizers, die 1990 aus 35 Xenon-Atomen den Schriftzug „IBM“ erzeugten.

Molekulare Maschinen

Alle Beteiligten wissen natürlich: Was Eigler und Schweizer unter extremen Bedingungen und Ausschaltung vieler Kräfte auf einer ebenen Fläche gelang,

„Die Nanotechnologie erarbeitet technische Angebote, für die es noch keine Anwendungen oder Nachfrage gibt.“

ist Lichtjahre entfernt von der Konstruktion eines dreidimensionalen Moleküls. Wenn die im Schriftzug „IBM“ ausgeübte Kontrolle dennoch vorbildlich bleibt, dann hat das mit weitreichenden Vorteilen zu tun, die tief in der Forschung verankert sind. Hier verbindet sich ein naturwissenschaftlich-reduktionistisches mit einem mechanisch-technischen Weltbild, demzufolge die Natur auch ein Ingenieur ist. Da wir uns nun angeblich ihre Konstruktionsprinzipien zu eigen machen können, sehen wir überall nur noch Maschinen – in den menschlichen Zellen einerseits, in den Produkten der Nanotechnologie andererseits.

Für manche heißt dies, dass die Nanotechnologie dann die größten Auswirkungen haben wird, wenn unsere herkömmlichen Maschinen durch nanotechnische ersetzt werden. Unter dem Stichwort „molecular manufacturing“ (Molekulare Fertigung) stellen sich diese Visionäre die Abschaffung abfallproduzierender Fabriken vor. An ihre Stelle

trete eine Produktionsweise, die globalen Überfluss und die Lösung aller Umweltprobleme verspricht: Beliebiges Material wird in ein Gerät gelegt, das so ähnlich wie ein Mikrowellenherd aussehen soll. Die Umwandlung des molekularen Materials wird programmiert und aus Erde wird zielgenau Gold, aus Dreck ein essbares Nanoschnitzel. Keine seriösen Forscher(innen) glauben daran, aber mit dem Gedanken wird trotzdem gerne gespielt – vom so genannten „Center for Responsible Nanotechnology“ bis hin zum Münchner Nanoforscher Wolfgang Heckl. Zwischen den Zeilen findet er sich auch in Stellungnahmen der europäischen Kommission. (4)

Nützliche Defekte

Die Beharrlichkeit der Maschinenfantasien ist auch deshalb interessant, weil die tatsächlichen Erfolgsgeschichten der Nanoforschung in die entgegengesetzte Richtung weisen. Die programmatische Suche nach neuen Materialien mit neuen

Eigenschaften verfährt nämlich keineswegs mit atomarer Präzision und nach mechanischen Bauplänen. Hier war es der Saarbrücker Nanoforscher Herbert Gleiter, der schon 1981 den Weg für Nanomaterialien, neue Oberflächenbeschichtungen und neue Produktionsmethoden für Nanopartikel ebnete. Das hierfür entscheidende Stichwort ist Nanostrukturierung: Neue Materialeigenschaften ergeben sich auch, wenn im Material eine Art nanoskaliger Unordnung entsteht. So ist eine bekannte Tatsache, dass Metall durch Hämmern gehärtet werden kann, wobei das Hämmern Defekte in das Material einbaut, die seine Verformung erschweren. In manchen Nanomaterialien wird dieses Prinzip auf die Spitze getrieben, sodass sie gewissermaßen nur noch aus Defekten bestehen.

Dies ist ein Paradebeispiel dafür, dass neue Eigenschaften dort entdeckt und nutzbar werden, wo nanoskalige Strukturen dominieren. Die Suche nach neuen

Nachhaltigkeit

A-Z



S wie Struktur und Forschung

Unsere Wissensgesellschaft fordert Forschung, die sich den komplexen Problemen unserer Welt stellt. Transdisziplinäre Forschung überschreitet Grenzen zwischen Fachbereichen und erfasst unterschiedlichste Blickwinkel – eine große Herausforderung für alle Beteiligten. Diese fundierte Einführungslektüre bietet Methoden für die Planung, Durchführung und Bewertung von transdisziplinären Projekten.

C. Pohl, G. Hirsch Hadorn

Gestaltungsprinzipien für die transdisziplinäre Forschung

Ein Beitrag des td-net

oekom verlag, München 2006, 119 Seiten, 29,80 EUR, ISBN 3-86581-000-4

Erhältlich bei

www.oekom.de

oekom@rhenus.de

Fax +49/(0)81 91/970 00-405

Die guten Seiten der Zukunft

 **oekom**
verlag

Materialeigenschaften entspricht also besonders gut der allgemeinen Definition, die als kleinster gemeinsamer Nenner angeboten wird, und sie hat bisher auch die größten wirtschaftlichen Erfolge zu verbuchen. Schmutzabweisende Oberflächen, kratzfestе Gläser, reibungsfreiere Golf- und Bowlingbälle sind dementsprechend die derzeit bekanntesten kommerziellen Nanoprodukte. Doch so, wie noch nicht realisierte Geräte und Maschinen ein höheres technisches Prestige genießen als bloße Materialien, so verschwinden auch Herbert Gleiter und die Materialwissenschaft aus den Gründungsgeschichten der Nanotechnologie. (5)

Dieses Vorurteil spiegelt sich auf der Ebene ethischer und gesellschaftlicher Reflektion auf die Nanotechnologie wider. Den molekularen Maschinenfantasien mag es an wissenschaftlich-technischer Glaubwürdigkeit mangeln, aber ihr revolutionäres Potenzial erweist sich als fruchtbar für aufregende Spekulationen über die Zukunft der Menschheit. Dabei wird schnell übersehen, wie sich die Lebensqualität auf unserem Planeten durch die Einführung neuer Materialien wie Plastik oder Asbest verändern konnte.

Ideale Bauelemente

Abschließend muss auf ein letztes nanotechnisches Programm eingegangen werden, das sich auf einfache Bauelemente bezieht, die neue Konstruktionsweisen ermöglichen sollen. Drähte, Schalen, Nanoröhrchen und Buckybälle sind solche idealen Körper. Insbesondere letztere sehen so harmonisch strukturiert aus, dass sie gemacht und schon als nanotechnisches Produkt erscheinen. Das nur von der Struktur her „schönste Molekül“ kommt jedoch natürlich vor und zwar ausgerechnet in Ruß.

Während Nanoforscher(innen) derart exponierte Strukturen zu kontrollieren lernen, denken sie sich mögliche Anwendungsmöglichkeiten aus. Kohlenstoff-Nanoröhrchen könnten als Fasern zur Materialverstärkung dienen oder als Komponenten einer neuen Chiparchitek-

tur. Vielleicht können sie Medikamente gezielt zum Krankheitsherd im Körper transportieren oder Flüssigkristalle in Bildschirmen ablösen. Wozu sie wirklich gut sind, muss sich aber noch erweisen. Vor allem mit derlei Bauelementen stellt sich die Nanotechnologie als so genannte „enabling technology“ (Schlüsseltechnologie) dar. Sie erarbeitet technische Angebote, für die es noch keine Anwendungen oder Nachfrage gibt. Wozu die Kohlenstoff-Nanoröhrchen gut sind, liegt nicht allein in ihrer Struktur und ihren Eigenschaften begründet, sondern hängt auch davon ab, was für Probleme wir mit ihrer Hilfe vorrangig lösen wollen. Indem sie sich als Schlüsseltechnologie präsentiert, öffnet sich die Nanotechnologie somit auch schon gesellschaftlichen Gestaltungsprozessen.

Wer wollte – angesichts dieser vier grob skizzierten Ansätze – noch von der Nanotechnologie im Singular sprechen? Statt auf Vereinheitlichung zu drängen, regt jedes dieser Programme kritische Nachfragen und weitere Differenzierungen an. Gerade die vagen ökologischen Versprechungen der Nanotechnologie und die mit ihr verbundenen ähnlich vagen ökologischen Bedenken bedürfen solcher Unterscheidungen, damit sie greifbar werden und nanotechnologische Programme beim Wort genommen werden können.

Anmerkungen

- (1) Schmid, Günter et al. (2006): Nanotechnology. Assessments and Perspectives. Berlin.
- (2) The Royal Society and Royal Academy of Engineering (2004): Nanoscience and Nanotechnologies. Opportunities and Uncertainties. London, S. 5.
- (3) Gaskell, George et al. (2004): Public Attitudes to Nanotechnology in Europe and the United States. In: Nature Materials 3/August 2004, S. 496.
- (4) European Commission (2004): Communication from the Commission. Towards a European Strategy for Nanotechnology. Luxembourg, S. 10.
- (5) Nordmann, Alfred (2006): Unsichtbare Ursprünge. Herbert Gleiter und der Beitrag der Materialwissenschaft. In: Nordmann, A. et al. (Hrsg.). Nanotechnologien im Kontext. Berlin, S. 81-96.



Auf Größe kommt es an ...

wenn es unheimlich klein oder groß ist und meine Vorstellungskraft übersteigt, sodass ich nur noch Staunen, nicht mehr Verstehen oder Beherrschen darf.

Zum Autor

Alfred Nordmann, geb. 1956, ist Professor für Philosophie und Geschichte der Wissenschaften an der Technischen Universität Darmstadt. Er lehrte von 1988 bis 2002 an der University of South Carolina. Neben der Beschäftigung mit Nanowissenschaften und der Konvergenz der Schlüsseltechnologien ist die Entwicklung der Wissenschafts- und Erkenntnistheorie von Kant bis Wittgenstein ein weiterer Schwerpunkt. Er ist Vorsitzender der Lichtenberg Gesellschaft.

Kontakt

Prof. Dr. Alfred Nordmann
 Institut für Philosophie
 Technische Universität Darmstadt
 Schloss
 D-64283 Darmstadt
 Fon ++49/(0) 61 51/16 29 95
 Fax ++49/(0) 61 51/16 39 70
 E-Mail nordmann@phil.tu-darmstadt.de
 www.philosophie.tu-darmstadt.de/nordmann