

Klaus Jopp

Nanotechnologie – Aufbruch ins Reich der Zwerge

Widmung

Im Gedenken an meinen Vater, der mir das naturwissenschaftliche Studium ermöglichte, und mit Dank an meine Familie, die große Geduld beim Schreiben dieses Buches aufbrachte.

Klaus Jopp

Klaus Jopp

Nanotechnologie – Aufbruch ins Reich der Zwerge



Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

1. Auflage Oktober 2003

Alle Rechte vorbehalten

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2003

Ursprünglich erschienen bei Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler/GWV Fachverlage GmbH,
Wiesbaden 2003.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 2003

Lektorat: Jens Kreibaum

www.gabler.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Nina Faber de.sign, Wiesbaden

Satz: Fotosatzservice Köhler, Würzburg

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

ISBN 978-3-663-10874-0

ISBN 978-3-663-10873-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-663-10873-3

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
Einleitung: Das Orakel von Delphi	13
Zwischen Science-Fiction und Wirklichkeit	13
Deutschlands Straßennetz auf einem Fingernagel	15
Nano – ein Thema mit überragender Querschnittsfunktion	16
Strukturen nach dem Plopp-Effekt	17
Erfolgskonzept Miniaturisierung	19
Wie die Nadel eines Plattenspielers	20
Auf dem Sprung in die Kommerzialisierung	21
Kapitel 1: Vorbild Natur – Vorbild Zelle	25
Die effektivste Fabrik ist winzig klein	25
Der Evolution auf der Spur – Selbstorganisation und Replikation	26
Erfolgsstrategie Miniaturisierung – der Abstieg vom Mikro- in den Nanokosmos	27
Der Nanokosmos hat eigene Spielregeln	29
Effekte und ihre Grundlagen	30
Der interdisziplinäre Ansatz	32
Kapitel 2: Kleinste Teilchen – größte wirtschaftliche Bedeutung	35
Alte Märkte mit neuen Lösungen	35
Mit Nanopartikeln und -composites wird schon Geld verdient	36
Nano-Start-ups nehmen stark zu	38
Schaltbare Lichtquellen für die Datenübertragung per Glasfaser	42
Neue Märkte durch neue Lösungen	43
Ultrafeine Pulver für Pigmente, Katalysatoren und Keramiken	44
Kapitel 3: Der Forschungswettlauf	49
Das Gerangel um die Poleposition in den Märkten der Zukunft	49
Überraschend großes Innovationspotenzial in Deutschland	50
Die nächste Industrielle Revolution	51
Die meisten US-Fördermittel gehen in die Grundlagenforschung	52

Stärken und Schwächen der Triade	54
Die japanische Herausforderung	55
Bei Patenten USA und Deutschland vorn	57
Europäische Programme	59
Europa in der Nanotechnologie schon stark vernetzt	60
Förderung durch das BMBF	61
Nachwuchswettbewerb Nanotechnologie	63
Netzwerk für den Fortschritt – die deutschen Kompetenzzentren	64
„Magnete des Wissens“	65
Die deutschen Kompetenzzentren im Überblick	70
„Projekthaus Nanomaterialien“ – eine neuartige Kooperation	73
Start für das Start-up „Degussa Advanced Materials“	75
Kapitel 4: Einsatz der Zwerge in Medizin, Pharmazie und Biologie	77
Spannende Überschneidungen zwischen Nano- und Biotechnologie	77
Neuartige medizinische Heinzelmännchen	79
Perfekte Biowerkstoffe	80
Mit winzigen Magneten gegen den Krebs	81
Medikamente mit Tarnkappe	83
Biokompatible Nanoschichten für Implantate	83
Maßgeschneiderte neue Wirkstoffe	85
Verbesserte Analyse von DNA-Proben	87
Nanosilber statt Antibiotika	88
Neuartiges Werkzeug zur Entwicklung von Diagnostika	90
Nanotechnologie in aller Munde	91
Grundsätzlicher Technologiewandel bei der Zahnpflege	93
Kapitel 5: Inspiration für Chemie und neue Materialien	97
Schlüsselbranche für Nanowerkstoffe und -strukturen	97
Polymerdispersionen – Nanoteilchen in Megatonnen	97
Nanocomposite mit unterschiedlichen Morphologien	99
Neue Katalysatoren für getaktete Polymere	100
Organische Metalle – eine ganz neue Werkstoffklasse	102
Wenn Weißmacher durchsichtig werden	105
Die Erfolgsstory vom Sand	108
Nanostrukturen mit Lotus-Effekt – Bausteine für superhydrophobe Beschichtungen	110
Doppelte Struktur gegen den Schmutz	111
Lotus-Spray in der Pipeline	112
Kunststoffe mit Lotus-Effekt	113
Extrem wasserabweisende Zeltbahnen und Textilien	115
Katalysatoren, Zeolithe und Klebstoffe	116

Schaltbare Kleber	117
Keine Mikrosysteme ohne geeignete Fügetechnik	118
Nanomaterialien mit neuen funktionellen Eigenschaften	119
Das Geheimnis der Wunderskier	122
Geheimtinten aus Hamburg	123
Verbünde, Composite und Pulver	124
Fullerene – Fußbälle, Röhren und andere Merkwürdigkeiten	129
Nobelpreis für Chemie in nur elf Tagen	131
Künstliche Diamanten aus Fulleren	132
Heißes Eisen Supraleiter	133
Ionentriebwerke für Satelliten	134
Verbundwerkstoffe mit Nanoröhren	135
Energiesparende Styrolsynthese	136
Molekulare Drähte für die Mikroelektronik	137
Kapitel 6: Neuer Schub für Elektronik und Informationstechnik	139
Von den Energiemonstern zum Transistor	139
Durchbruch des PC per Bausatz	140
Strukturen immer kleiner, Wafer immer größer	142
Die „Pizza-Bäcker“ kommen	143
Miniaturmagneten als Datenspeicher	145
Auf dem Sprung zu postoptischen Lithographieprozessen	147
Nanoröhrchen in Y-Form aus Berlin	149
BSE-Erreger als Stromkabel	150
Baukasten für Nanowerkzeuge	151
Laser aus atomaren Schichtstapeln	152
Kapitel 7: Heinzelmännchen für Feinmechanik, Optik und Analytik	155
Hohe Ausgaben für Forschung und Entwicklung	155
Muskeln aus nanoporösem Metall	156
Das Photon als Technologieträger	156
Das Zeitalter der OLEDs hat begonnen	159
OLEDs auch für Beleuchtungszwecke	161
Polymerelektronik gewinnt an Gewicht	164
Technologiewechsel bei der Chipherstellung	164
Über 100 Schichten bis zum Spiegel	167
Dosiersysteme für wenige Nanoliter	168
„Augen und Finger“ für die Nanotechnologie	169
Analytik – auch im Nanokosmos unverzichtbar	171
Zwergeninstrumente: Pinzetten, Heizer und Pipetten	171
Auf dem Weg zur magnetischen Nanofestplatte	172

Kapitel 8: Potenzial für die Automobilindustrie	175
Nanos im Fahrzeug – zum Teil ein „alter Hut“	175
Zwerge sollen helfen, den Flottenverbrauch zu senken	178
Leichtbau ist Trumpf	180
Endlich kratzfeste Lacke	181
Der Wettlauf zur Kratzfestigkeit ist noch nicht entschieden	182
Ferrite, Chamäleons und Lotus	183
Kapitel 9: Auch die Umwelt profitiert	187
Neue Chancen für die Ressourcenschonung	187
Warmes Wasser von der Sonne	187
Nanoporen und -membranen	188
Neue Technologie zur Salzgewinnung	189
Metallische Nanofilter	190
Automobillackierung: Es geht auch ohne Chrom	190
Halogenfreie Flammschutzmittel auf Nanobasis	192
Organisches Metall hilft auch im Umweltschutz	193
Ultimativer Roststopper	194
Baustoffe mit Nanoappeal: Beton und Lehm	196
Kapitel 10: Die Energie der Zukunft	199
Von der Sonnenwärme bis zu hocheffizienten Dämmstoffen	199
Nanoskalige Solarzellen für mehr Power aus der Sonne	199
Die Nanobatterie	201
Was die Brennstoffzelle mit Nanotechnologie zu tun hat	202
Nanoröhren als Wasserstoffspeicher – Wunsch und Wirklichkeit	203
Nanowürfel als Speichermedien	203
Hoffnungsträger Metal Organic Frameworks	204
Starkes Duo für die Wärmedämmung	206
Kapitel 11: Die Visionen von der Nanomaschine	209
Ray Kurzweil und K. Eric Drexler – Propheten oder Spinner?	209
Es geht um elementare Fragen der menschlichen Existenz	210
Nanoroboter, die sich selbst replizieren	212
Schwärme von künstlichen Kreaturen	214
Umweltschützer fordern ein Nano-Moratorium	215
Große Bedenken im Europäischen Parlament	217
Auch das Militär will Nanotechnik	218
Ängste ernst nehmen	219
Namenverzeichnis	221
Stichwortverzeichnis	225



Vorwort

Sauberkeit zum Aufsprühen, Zahnpasta mit Reparaturreffekt, Farbdisplays in beliebiger Größe und zu günstigen Preisen, Brennstoffzellen für leistungsfähigere Handys und Laptops – Vision oder Realität? Nanomaterialien sind große Hoffnungsträger von Industrie und Wissenschaft und faszinieren Fachwelt und Laien gleichermaßen. Selten hat eine Technologie so viel Publicity innerhalb weniger Jahre erfahren wie die Nanotechnologie. Sie gilt als eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts.

Nanoteilchen, das sind winzige Partikel mit einem Durchmesser von nur wenigen Millionstel Millimetern. Materialien aus solchen Nanoteilchen besitzen häufig andere Eigenschaften als die „klassische“ Materie, obwohl sie aus den gleichen chemischen Bausteinen bestehen. Beim Verkleinern können sich sprunghaft die mechanischen, optischen, chemischen, magnetischen und elektronischen Eigenschaften ändern. Auch Härte, Zähigkeit und Schmelzpunkt können deutlich variieren. Das Interesse an den Nanoteilchen hängt genau mit diesen überraschenden und ungewöhnlichen Eigenschaften zusammen. So sind etwa viele Vitamine wasserunlöslich. Macht man Nanopartikel daraus, werden sie bereits mit kaltem Wasser gut mischbar und für den menschlichen Organismus biologisch verfügbar.

Das Charakteristische der Nanoteilchen ist ihre riesige spezifische, also auf das Gewicht bezogene, Oberfläche. Diese Tatsache nutzt man beispielsweise bei der heterogenen Katalyse. Interessante Effekte zeigen sich auch bei der Wechselwirkung der winzigen Teilchen mit elektromagnetischer Strahlung. In Sonnencremes filtert nanopartikuläres Zinkoxid ultraviolette Strahlung aus dem Sonnenlicht. Die Partikel bleiben wegen ihrer geringen Größe unsichtbar für das menschliche Auge. Daher ist die Creme auf der Haut transparent.

Erste kommerzielle Anwendungen haben sich also bereits auf dem Markt etabliert. Nanoprodukte sind heute in den Bereichen Elektronik, Optoelektronik, Biotechnologie, Pharmazentik, Kosmetik, Energie, Katalyse und Maschinenbau vertreten. Darüber hinaus eröffnen sich neue attraktive Märkte – etwa bei Textilien für den Outdoor- und Freizeitbereich. Dort sorgen Nanopartikel in einem Vorprodukt für Textilfasern, einem speziellen Polyamid der BASF, für eingebauten UV-Schutz. Großes Interesse erregen darüber hinaus unsere Nanocubes, die Energie für trag-

bare Computer speichern könnten. Die Wissenschaftler der BASF testen derzeit ein Material, das ein hochporöses Raumbitter aus Zinkoxid und Terephthalsäure mit vielen offenen Poren und Kanälen besitzt. Diese Nanowürfel könnten in Zukunft als Wasserstoffspeicher für kleine Brennstoffzellen dienen und Laptops oder Handys mit Strom versorgen. Eine zauberhafte Zukunft verspricht auch die BASF-Entwicklung, der die Lotus-Pflanze Pate stand. Für die entwickelte Oberflächenbeschichtung sind zwei Eigenschaften charakteristisch – die Superhydrophobie, eine starke Wasserabweisung, und die Selbstreinigung. Wassertropfen auf einer entsprechend behandelten Oberfläche können nicht mehr anhaften und rollen einfach ab. Schmutzpartikel werden dabei von der Oberfläche entfernt. Das Beschichtungsmittel lässt sich durch Sprühen leicht auf jede Oberfläche aufbringen. Während des Trocknens bilden sich dann die Nanostrukturen durch Selbstorganisation und verändern die Oberflächeneigenschaften wie gewünscht. Stein-, Holz- oder Kunststoffoberflächen könnten beispielsweise in Zukunft den Schmutz einfach abperlen lassen.

Auch die staatliche Förderung hat das immense Potenzial dieser Technologie erkannt und unterstützt diverse Forschungsprojekte. Im Jahr 2001 wurden weltweit 1,6 Milliarden Euro an Fördergeldern für Nano-Projekte gezahlt, fast ein Drittel davon in den Vereinigten Staaten. Dies spiegelt sich jedoch nicht in der Bewertung der Technologieführerschaft wider: Bei der regionalen Verteilung von Nanotechnologiekompetenzen sehen Teilnehmer einer Umfrage von 3i, einer der größten international agierenden Venture-Kapital-Gesellschaften, Europa als führend in den Bereichen Pharma, Materialien und Chemie. Die größte Elektronikkompetenz wird Japan und Korea knapp vor den USA zugeschrieben. Im Bereich der Nanostrukturierung werden die USA als weltweit führend angesehen.

Doch was ist alles „nano“? Eine klare Abgrenzung von Nanoprodukten ist schwierig. Zählt etwa ein Polymer, dessen typische Eigenschaften auf teilkristallinen Nanostrukturen beruhen, bereits dazu? Dies macht es nicht einfach, das Weltmarktvolumen in Zahlen zu fassen. Klar ist, dass derzeit Nanopartikel und Composite sowie Beschichtungen die wichtigsten Anwendungsgebiete sind – Felder, die insbesondere für die chemische Industrie interessant sind. Bei den Partikeln machen etablierte Produkte wie Pigmente und Dispersionen den Löwenanteil aus. Das trifft heute zu, wird aber auch in zehn Jahren noch so sein. Ultradünne Schichten finden größtenteils Anwendungen in Elektronik und Informationstechnologie. Sie dürften auch zukünftig der größte Markt für Beschichtungen sein. Überproportionales Wachstum wird für funktionale und optische Beschichtungen erwartet, also Schichten, die zu Kratzfestigkeit, Antibeschlag- oder Selbstreinigungseffekten verhelfen. Hier ist die deutsche Industrie führend. Für die Eroberung der Nanomärkte gibt es allerdings noch Hemmschuhe: Häufig sind die Zwergenprodukte zu teuer und damit gegenüber dem Stand der Technik nicht konkurrenzfähig. Die Forschung ist meist zu technologiegetrieben, es wird zu viel auf faszinierende Abmessungen und zu wenig auf das Eigenschaftsprofil geachtet.

Die BASF stellt schon seit Jahrzehnten viele Produkte her, deren Eigenschaften von Nanopartikeln beziehungsweise Nanostrukturen geprägt sind. Wir setzen die Nanotechnologie jedoch nicht um ihrer selbst willen ein. Vielmehr nutzen wir die Technologie, um Produkte mit völlig neuen oder überlegenen Eigenschaften zu erzeugen und damit unseren Kunden zu einem zusätzlichen Nutzen zu verhelfen. In Anwendungen wie Polymerdispersionen, Farbpigmenten und Katalysatoren besitzt die BASF heute ein gut etabliertes Geschäft. Zum Einfärben von Kunststoffen werden beispielsweise Nanopigmente verwendet. Auch viele BASF-Lacke und Farben sind ohne die Zwergentechnologie nicht mehr denkbar. Durch eine im Nanometerbereich strukturierte Architektur können die Eigenschaften des Kunststoffes Styrolux, ein Styrol-Butadien-Blockpolymer, beeinflusst werden. So lässt sich bei der Herstellung dieses Kunststoffes ganz gezielt sein Eigenschaftsprofil einstellen. Und daraus hergestellte Lebensmittelverpackungen erhalten die optimale Mischung aus Schlagfestigkeit und Transparenz.

Für die Zukunft gibt es reichlich Pläne, damit die kleinen Wunder, die auf Nanostrukturen beruhen, Wirklichkeit werden. Fest steht: Die Nanotechnologie ist eine echte Querschnittstechnologie, sowohl aus Sicht der Wissenschaftler als auch der Anwender, und sie wird künftig in allen Bereichen der Technik eine Rolle spielen.

*Dr. Stefan Marcinowski, Mitglied des Vorstands der BASF Aktiengesellschaft
und Sprecher der Forschung*