

# WISSENSCHAFT DER ZUKUNFT – ZUKUNFT DER WISSENSCHAFT: BEISPIEL NANOTECHNOLOGIE

**Eckehard Schöll**

Institut für Theoretische Physik, Technische Universität Berlin

Hardenbergstr. 36, 10623 Berlin

email: [schoell@physik.tu-berlin.de](mailto:schoell@physik.tu-berlin.de)

<http://wwwnlds.physik.tu-berlin.de>

## Was ist Nanotechnologie?

Die moderne Physik spielt als Wissenschaftsdisziplin eine Doppelrolle: Zum einen ist sie eine naturwissenschaftliche Grundlagenwissenschaft, die primär auf Erkenntnis gerichtet ist; zum anderen hat sie starke anwendungsorientierte Bezüge, die das Fundament zukünftiger Technologien legen. Besonders eng verzahnt sind diese beiden Aspekte auf dem aktuellen Gebiet der *Nanotechnologie*. Mit dem Wort „Nano“ werden in Wissenschaft und Technik Strukturen in Physik, Chemie und Biologie belegt, deren Abmessungen im Bereich weniger Nanometer liegen. Ganz allgemein bezeichnet die Vorsilbe „Nano“ (νανο- griechisch: Zwerg) die Maßeinheit  $10^{-9}$ , d.h. ein Nanometer ist ein milliardstel Meter oder ein millionstel Millimeter. Wenn wir auf die Größe eines Nanometers schrumpfen würden, so hätte die Erde bei gleicher Maßstabsverkleinerung nur noch die Größe einer Erbse. Die Erforschung der Nanowelt auf unvorstellbar kleinen Längen- und Zeitskalen ist eine der großen Herausforderungen der heutigen Physik. Die Zukunftsvision einer Nanotechnologie, bei der Strukturen auf einer atomaren Längenskala von Nanometern gezielt präpariert und in praktischen Anwendungen eingesetzt werden, wird durch die aktuelle physikalische Grundlagenforschung ermöglicht. Ohne dass wir uns vielleicht dessen bewusst sind, gibt es bereits viele Anwendungen der Nanotechnologie in unserem Alltag.

Viele Materialien zeigen im Nanometer-Maßstab völlig neue physikalische Eigenschaften: Nanoteilchen aus  $\text{TiO}_2$  (s. Abb. 1) sind z.B. Bestandteil von Sonnencremes (sie wirken als UV-Schutz, da sie im Ultravioletten absorbieren, sind aber trotzdem transparent für sichtbares Licht) und verleihen Autolacken schillernde Metallic-Farbeffekte; Nanopartikel dienen als Füllstoffe in Holzschutzmitteln, Kosmetika, Medikamenten und in Zahnfüllungen, und in supersaugfähige Babywindeln.

Ein anderes wichtiges Anwendungsfeld der Nanotechnologie ist die Nanoelektronik und Nanophotonik. Durch raffinierte Wachstumstechniken können z.B. winzige pyramidenförmige Strukturen auf Halbleiteroberflächen, sogenannte *Quantenpunkte*, hergestellt werden (s. Abb.2). Quantenpunkt-Bauelemente mit Abmessungen von wenigen Nanometern können als Einzelelektronenspeicher oder als Halbleiter-Laser (s. nachfolgenden Aufsatz von M. Kuntz) Verwendung finden. Durch epitaktisches Schichtwachstum von Sequenzen verschiedener Halbleitermaterialien und selbstorganisierte oder aufgeprägte Strukturierung lassen sich vielfältige Nanostrukturen realisieren [1, 2, 3]. Der Stromtransport durch solche Strukturen zeigt oft ungewöhnliche nichtlineare Eigenschaften [4, 5].

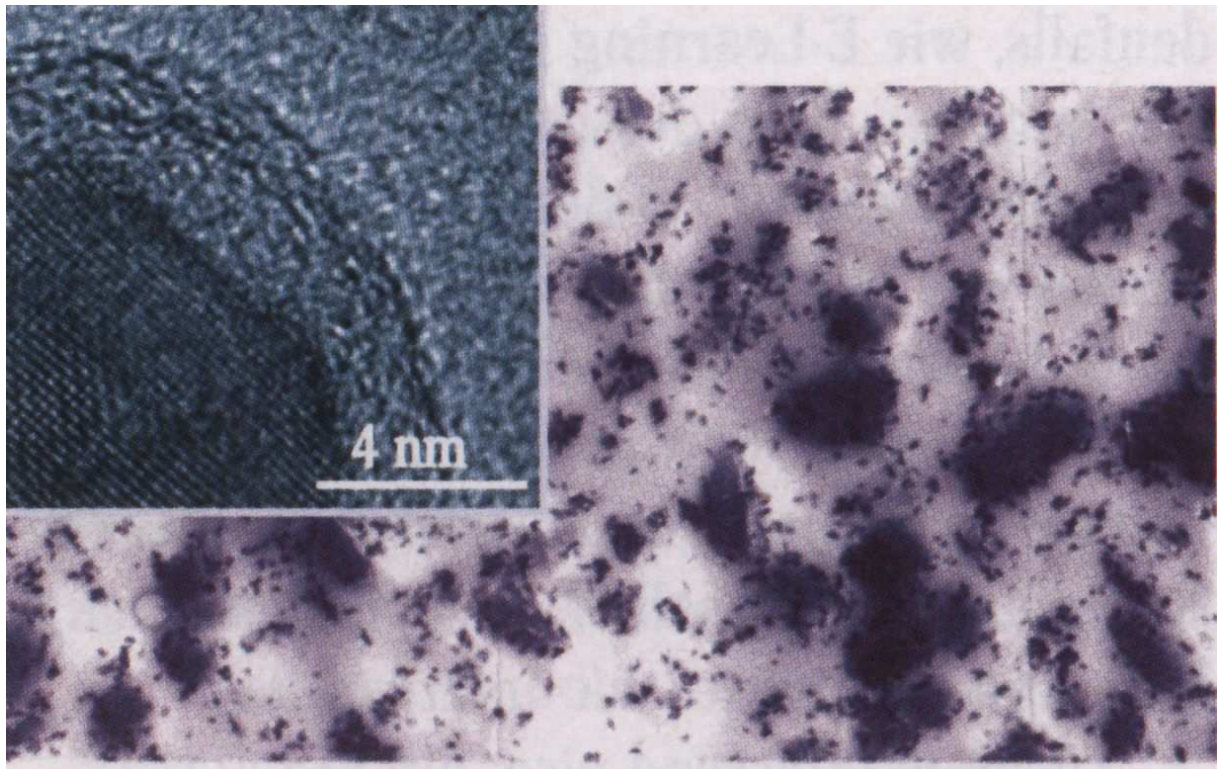


Abb. 1: Elektronenmikroskopische Aufnahme von  $\text{TiO}_2$ -Nanopartikeln (kleine dunkle Punkte) in einem Bindemittel. Der Ausschnitt zeigt einen Partikel in höherer Vergrößerung (Quelle: U. Kilian, Physik Journal 3, Nr. 8/9, S. 118 (2004).)

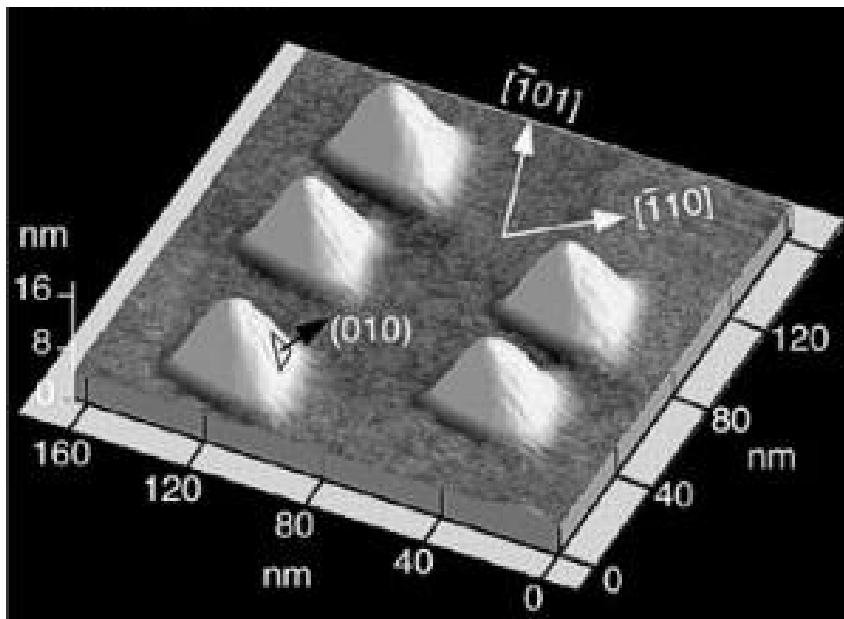


Abb. 2: Quantenpunkte auf einer Halbleiteroberfläche (Quelle: M. Kuntz, bmb+f Nanotechnologie-Kompetenzzentrum NanOp, TU Berlin)

In der Nanowelt gelten ganz andere physikalische Gesetze. Während in unserer Alltagswelt die Schwerkraft und elektromagnetische Kräfte das Verhalten bestimmen, sind die dominanten Wechselwirkungen auf einer Nanoskala andere: da Nanoteilchen im Verhältnis zum Volumen eine viel größere Oberfläche haben, werden neben der elektromagnetischen Wechselwirkung die Oberflächenspannung und andere Oberflächeneffekte wichtig. Der entscheidende Unterschied liegt aber in der Quantenmechanik, die auf einer Nanoskala die klassische Mechanik ablöst. Die quantenmechanische Unbestimmtheits-Relation verbietet es, Ort und Impuls eines Teilchens zugleich scharf zu messen; die klassisch determinierte Ortskoordinate eines Teilchens wird durch eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit ersetzt. Eine wichtige Konsequenz daraus ist z.B. der quantenmechanische Tunneleffekt: Elektronen können mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit durch Energiebarrieren tunneln, auch wenn sie geringere Energie haben. Dies, zusammen mit der Quantisierung der Energien, bildet die Grundlage für neuartige elektronische und optoelektronische Bauelemente.

Die Möglichkeit, physikalische Eigenschaften eines Materials gezielt durch Variation der Größe und Form der Nanostrukturen zu verändern, eröffnet ungeahnte technologische Möglichkeiten. Dass nicht mehr das Material, sondern die Geometrie die Eigenschaften in der Nanowelt bestimmt, dass sich beispielsweise die Farbe mit der Größe eines Objektes ändert, ist eine Konsequenz der Quantenphysik, die auf der Nano-Längenskala gilt und unter anderem besagt, dass die quantisierten Energiewerte vom Durchmesser der Struktur abhängen (s. den folgenden Aufsatz von A. Wacker, *Nanotechnologie: Quantenphysik als Werkzeug*). Sie erlaubt es, maßgeschneiderte künstliche „Atome“ mit gewünschten Eigenschaften herzustellen.

Die technologischen und ökonomischen Implikationen dieser Entwicklung, die von quantenphysikalischen Grundlagenphänomenen ausgeht, sind enorm. Der Übergang von der Mikroelektronik, die bereits heute weltweit einen Jahresumsatz von 140 Mrd. EUR (bei einem jährlichen Wachstum von 15%) verzeichnet, zur Nanoelektronik wird von der EU als wichtiger strategischer Wirtschaftsfaktor angesehen. Dies zeigt sich auch in der VDI/bmb+f Technologiefrüherkennungs-Initiative 2004 zur kontrollierte Selbstorganisation von Nanostrukturen [6], die nicht nur Halbleiter-Quantenpunkte, Nanopartikel, Nanoröhrchen aus Kohlenstoff (s. nachfolgenden Aufsatz von S. Reich) einschließt, sondern auch Strukturen der Makromolekularchemie und der Nanobiologie.

Die Forschung auf dem Gebiet Nanotechnologie stellt gerade an der Technischen Universität Berlin einen profilgebenden Schwerpunkt innerhalb der Berliner Wissenschaftslandschaft dar. Für Theorie und Experiment tun sich hier völlig neue Gebiete und technologische Anwendungen auf. Heute wird auf dem Gebiet der Nanophysik, insbesondere der Halbleiter-Nanostrukturen, sehr intensiv geforscht, neue Züchtungsverfahren, Untersuchungsmethoden und theoretische Konzepte werden erprobt. Auch die Anwendung (z.B. Laser) wurde erfolgreich entwickelt. Die nachfolgenden drei Aufsätze junger Wissenschaftler, die alle ihre wissenschaftliche Heimat an der TU Berlin haben oder hatten, geben einen kleinen Einblick in aktuelle Forschungen auf diesem zukunftssträchtigen Gebiet.

## Literatur

- [1] D. Bimberg, M. Grundmann, and N. Ledentsov: *Quantum Dot Heterostructures* (Wiley, New York, 1999)
- [2] V. Shchukin, D. Bimberg, and N. Ledentsov: *Epitaxy of Nanostructures, Nanoscience and Technology* (Springer, Berlin, 2004)
- [3] M. Hermann, W. Richter, and H. Sitter: *Epitaxy – Physical Foundation and Technical Implementation* (Springer, Berlin 2004)
- [4] E. Schöll (Ed.): *Theory of Transport Properties of Semiconductor Nanostructures* (Chapman and Hall, London, 1998)
- [5] E. Schöll: *Nonlinear Spatio-Temporal Dynamics and Chaos in Semiconductors* (Cambridge University Press, 2001)
- [6] H. Eickenbusch, A. Hoffknecht, D. Holtmannspötter, and D. Wechsler (Eds.): *Technologiefrüherkennung: Kontrollierte Selbstorganisation für zukünftige technische Anwendungen* (VDI Düsseldorf 2004)