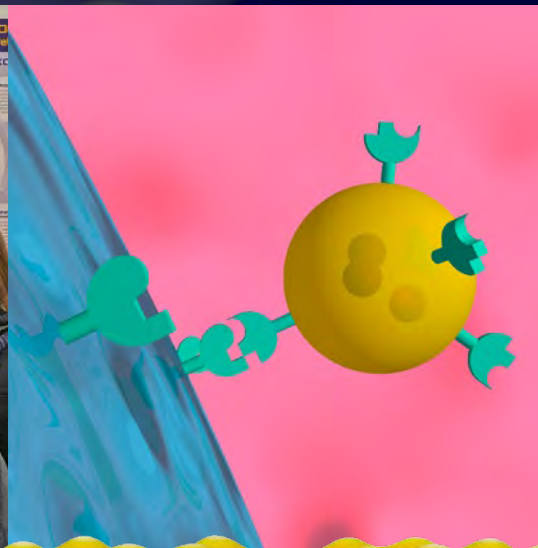
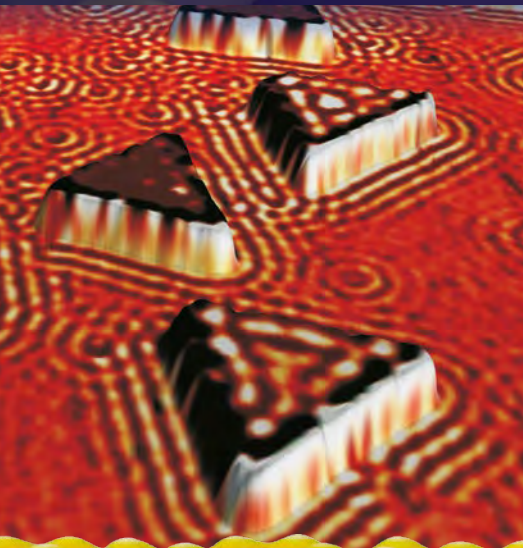


# NANOTECHNOLOGIE

## Aufbruch in neue Welten

– Ausstellungsführer –



Grundlagen	<b>Die Ausstellung „Nanotechnologie – Aufbruch in neue Welten“</b> .....2
	<b>Der Campus Jungiusstraße in seiner historischen Bedeutung</b> .....3
	<b>Was ist Nano und Nanotechnologie?</b> ..... 4
	<b>Der Nanokosmos – eine andere Welt</b> .....5
	Eine Quantenwelt.....5
	Der Tunneleffekt .....5
	Im Nanokosmos sind wir vollständig blind .....5
	<b>Neuartige Materialeigenschaften</b> ..... 6
	Elektrische Leitungen im Nanokosmos ..... 6
	Materialien mit neuen Eigenschaften ..... 6
<b>Nanotechnologie in der Natur</b> .....7	
<b>Die Ursprünge der Nanotechnologie</b> ..... 8	
Physik	<b>Rastersondenmethoden</b> .....10
	Wer nicht sehen kann, muss fühlen .....10
	Steuerung mit atomarer Präzision .....10
	<b>Tastfinger im Nanokosmos</b> ..... 11
	Rastertunnelmikroskopie..... 11
	Rasterkraftmikroskopie.....13
	Atom-Manipulation: Rastersondenmikroskope als Werkzeug .....14
<b>Nano-Spintronik</b> .....15	
<b>Digitale Datenspeicher</b> .....16	
Chemie	<b>Nanomaterialien: Werkstoffe aus Nanopartikeln</b> .....18
	Nanotechnologie und dünne Schichten.....21
	Funktionelle Beschichtungen mit Nanopartikeln.....21
	Selbstorganisation .....21
Biologie	<b>Nanotechnologie in der Medizin</b> .....25
	Thermotherapie mit magnetischen Nanopartikeln.....25
	Gezielter Wirkstofftransport (Drug Targeting and Drug Delivery) .....25
	Visionen der Nanomedizin .....27
	<b>Nanotechnologie in der Kosmetik</b> ..... 28
<b>Der Lotus-Effekt®</b> ..... 29	
<b>Exponat- und Ausstellerliste</b> .....31	
<b>Anreisebeschreibung zur Ausstellung</b> .....33	

Copyright 2017 Sonderforschungsbereich 668 and ERC Advanced Grant „ASTONISH“  
 Universität Hamburg • Fachbereich Physik • Jungiusstraße 9-11 • 20355 Hamburg

**Leitung:**

Prof. Dr. Roland Wiesendanger  
 wiesendanger@physnet.uni-hamburg.de

**Öffentlichkeitsarbeit:**

Dipl.-Chem. Heiko Fuchs  
 hfuchs@physnet.uni-hamburg.de • Telefon: 040 - 4 28 38 - 69 59

**Internet:**

[www.nanotechnologie-ausstellung.de](http://www.nanotechnologie-ausstellung.de) • [www.sfb668.de](http://www.sfb668.de) • [www.nanoscience.de/astonish](http://www.nanoscience.de/astonish) • [www.nanoscience.de](http://www.nanoscience.de)



Liebe Ausstellungsbesucher/innen,

Nanotechnologie ist zwar immer häufiger in den Medien und inzwischen findet man das Wort auch in einigen Wörterbüchern, dennoch besteht in der Öffentlichkeit nur ein sehr diffuses Bild über diese Zukunftstechnologie. Es geht auch längst nicht mehr nur um die Zukunft: Vielleicht befindet sich schon ein Stück Nanotechnologie in Ihrem Badezimmerschrank, in Ihrer Küche, in Ihrem Büro oder in Ihrem Auto?

Nanowissenschaft und Nanotechnologie sind keine kleinen Spezialdisziplinen, sie sind die konsequente Fortentwicklung von Wissenschaft und Technik zu höherer Präzision und zu immer kleineren Details. Egal, ob Wissenschaftler aus der Physik, der Chemie, der Biologie oder aus der Medizin kommen: wenn sie ihre Forschungsobjekte bis ins kleinste Detail, also bis aufs Atom genau verstehen wollen, dann brauchen sie die Nanotechnologie.

Und wozu ist das alles gut? Die Anwendungen der Nanotechnologie reichen in fast alle Lebensbereiche hinein, vom Rostschutz bis zur Badezimmerfliese, vom Autoreifen bis zum Computerchip oder vom Deo bis zur Therapiemethode gegen Hirntumore. Auch diese Vielseitigkeit macht es dem Außenstehenden nicht leichter, das Wort „Nanotechnologie“ einzuordnen.

Genau dabei möchte Ihnen diese Ausstellung helfen. Sie sehen hier zwar auch die Nanotechnologie in ihrer ganzen Vielfalt, es geht aber vor allem um den roten „Nano-Faden“, der alle Exponate miteinander verbindet. Sie finden hier Gegenstände und Produkte aus Nanowissenschaft und Nanotechnologie, können diese in die Hand nehmen und sich darüber informieren, was zum Beispiel ein Lautsprecher oder Sonnencreme mit Nanotechnologie zu tun haben.

Dank der Universität Hamburg und der Freien und Hansestadt Hamburg können Sie heute an dem Ort, an dem Giganten der Wissenschaft wie Otto Stern und Wolfgang Pauli gearbeitet haben, die Zukunftstechnologie des 21. Jahrhunderts erleben.

Die kostenlosen Ausstellungs- und Laborführungen im Herzen von Hamburg sind für die breite Öffentlichkeit gedacht, doch vor allem möchten wir junge Menschen mit dieser Ausstellung über diese Zukunftstechnologie informieren und sie für Berufe im weiten Feld der Nanotechnologie und der Nanowissenschaften begeistern.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß dabei!



# Die Ausstellung „Nanotechnologie – Aufbruch in neue Welten“



Herzlich willkommen in der dienstältesten Nanotechnologie-Ausstellung in Deutschland! Die aktuelle Ausstellungsfläche, der gut sichtbare und klimatisierte Ausstellungspavillon in der Jungiusstraße 9-11, wurde 2015 von der Universität Hamburg errichtet und hat eine Nutzfläche von ca. 80 m<sup>2</sup>.



Der Ausstellungspavillon in der Jungiusstraße 9-11 ist nicht zu übersehen.



Ein Besuch der Ausstellung ist nur in Form einer rechtzeitig angemeldeten Führung möglich.

Die Führungen durch die Ausstellung „Nanotechnologie – Aufbruch in neue Welten“ und durch die Physiklabore am Standort Jungiusstraße werden **kostenlos** angeboten. Voraussetzungen sind eine **rechtzeitige Anmeldung**, wofür Sie unser Anmeldeformular auf der Webseite [nanotechnologie-ausstellung.de](http://nanotechnologie-ausstellung.de) nutzen können, und die geführte Gruppe muss aus **mindestens 5 Personen** bestehen. Falls Ihre Gruppe kleiner ist, können Sie sich trotzdem bei uns melden und sich einer anderen Gruppe anschließen.

Die Nanotechnologie-Ausstellung ist für die Öffentlichkeit nicht ständig geöffnet und kann nur im Rahmen einer angemeldeten Führung besucht werden. In der Regel finden diese an Werktagen zwischen 10 und 18 Uhr statt. In Ausnahmefällen sind aber auch Termine an den Wochenenden und am späten Abend bzw. in der Nacht möglich.

Eine **Führung dauert ca. 120 Minuten** und beginnt mit einem kurzen Einführungsvortrag. Danach werden Sie durch die Ausstellung geführt. Fragen sind dabei natürlich stets erwünscht! Falls es zeitlich, personell und technisch möglich ist, können verschiedene Physiklabore am Standort Jungiusstraße besichtigt werden. Der Zeitrahmen einer **Laborführung** beträgt **ca. 60 Minuten**.

Die Nanotechnologie-Ausstellung eignet sich sehr gut für Schulklassen und Profilkurse, denn gerade junge Menschen haben hier die Möglichkeit, sich über diese Zukunftstechnologie zu informieren bzw. Auskünfte über Studienmöglichkeiten im Bereich der Nanotechnologie zu erhalten.

**Schüler/-innen ab Klassenstufe 9** können der Führung durch die Nanotechnologie-Ausstellung problemlos folgen und falls etwas noch nicht im Unterricht behandelt wurde, sind Fragen während der Führung jederzeit erwünscht.

# Der Campus Jungiusstraße in seiner historischen Bedeutung

Die Physik in Hamburg hat eine lange Tradition, die bis zum 1613 geschaffenen Lehrstuhl für Physik und Mathematik des „Akademischen Gymnasiums“ zurückreicht. In der Zeit von 1629 bis 1657 war Joachim Jungius Inhaber dieses Lehrstuhls, der aufgrund seiner Verdienste zum Namenspatron der Straße wurde, an der die Hamburger Physik ihre Heimat gefunden hat. Das „Physikalische Kabinett“ des Akademischen Gymnasiums war der Vorläufer des 1885 errichteten „Physikalischen Staatslaboratoriums“, welches 1921 unter der Bezeichnung „Physikalisches Staatsinstitut“ in die Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der 1919 gegründeten „Hamburgischen Universität“ integriert wurde.

Neben den am „Physikalischen Staatsinstitut“ beheimateten Fachgebieten „Experimentalphysik“ und „Theoretische Physik“ (seit 1921) wurde 1923 das Fach „Physikalische Chemie“ zum Ordinariat erklärt. Erster Inhaber dieses Lehrstuhls war Otto Stern, der bis zu seiner Vertreibung im Jahr 1933 durch die Nationalsozialisten zehn Jahre an der Jungiusstraße gewirkt hatte. Otto Stern erhielt 1943 für seine bahnbrechende Entdeckung des anomalen magnetischen Moments des Protons, basierend auf der Molekularstrahlmethode, den Nobelpreis für Physik. Entwicklungen wie die Kernspintomographie, Atomuhren und Laser basieren wesentlich auf den Erkenntnissen von Otto Stern. Seinem Wirken ist eine Gedenktafel am Eingang des Gebäudes 9a gewidmet, welches er zwei Jahre vor seiner Vertreibung als Neubau beziehen konnte.



Das Otto-Stern-Gebäude in der Jungiusstraße 9a um 1930.



Otto Stern in seinem Hamburger Labor um 1928.

Zur Zeit Otto Sterns war auch Wolfgang Pauli von 1923 bis 1928 als Professor an der Jungiusstraße tätig. Für seine Entdeckung des sogenannten „Ausschlussprinzips“, weithin über Fächergrenzen hinweg bekannt als „Pauli-Prinzip“, erhielt er 1945 den Nobelpreis für Physik.

Als dritter Physik-Nobelpreisträger war J. Hans D. Jensen über viele Jahre an der Jungiusstraße tätig. Er wurde 1907 in Hamburg geboren, promovierte 1932 im Fach Physik und arbeitete danach als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Theoretische Physik. Nach seiner Habilitation 1936 erhielt er im darauf folgenden Jahr eine Privatdozentur, bevor er 1941 einem Ruf an die Technische Hochschule in Hannover und 1949 an die Universität Heidelberg folgte. Im Jahre 1963 erhielt er den Nobelpreis für Physik gemeinsam mit Eugene Wigner und Maria Goeppert-Mayer für bahnbrechende Arbeiten im Zusammenhang mit der Schalenstruktur der Atomkerne.

Die große Tradition der Hamburger Physik am Standort Jungiusstraße wird durch viele weitere große Namen begründet, allen voran Ernst Ising, der im Rahmen einer Doktorarbeit am Institut für Theoretische Physik das allen Physikern bekannte „Ising-Modell“ zur Beschreibung des Verhaltens des Spins, dem Eigendrehmoment von Elektronen (siehe Seite 15), in bestimmten Materialklassen entwickelte. Interessanterweise spielt die Physik des Spins bereits seit den Zwanzigerjahren eine zentrale Rolle für die herausragenden Beiträge der Hamburger Physik in der Jungiusstraße, sowohl im Bereich der experimentellen Forschung als auch im Bereich der Theorie. Diese große Tradition wird auch heute noch durch zahlreiche Exzellenzprogramme auf Landes-, Bundes-, EU- sowie internationaler Ebene fortgeführt.

# Was ist Nano und Nanotechnologie?

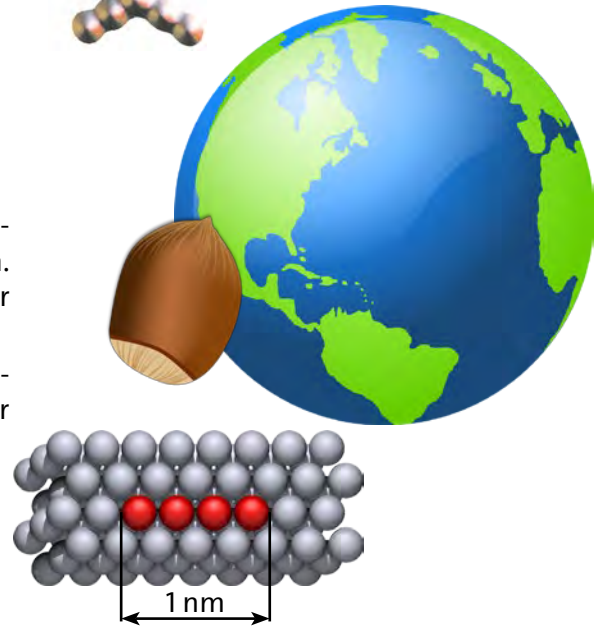
Die Vorsilbe „**Nano**“ stammt von  $\nu\acute{\alpha}\nu\omicron\varsigma$  (nános), dem altgriechischen Wort für **Zwerg**. Ursprung der Bezeichnung „Nanotechnologie“ ist die Maßeinheit Nanometer (1 nm) im metrischen System.



*Dieser wohl kleinste Zwerg der Welt wurde aus 28 Kohlenmonoxid-Molekülen auf einer Platinfläche erzeugt (Bild: Peter Zeppenfeld, IBM)*

## Ein Nanometer...

... ist ein **Milliardstel Meter** (Abkürzung 1 nm). Diese Längeneinheit hat der Nanotechnologie ihren Namen gegeben. Ein Nanometer entspricht in einem Stück Metall etwa der Länge von vier aneinandergereihten einzelnen Atomen. Ein Nanometer verhält sich zu einem Meter wie der Durchmesser eines einzelnen Atoms zu dem eines Apfels oder wie der Durchmesser einer Haselnuss zu dem der Erde.

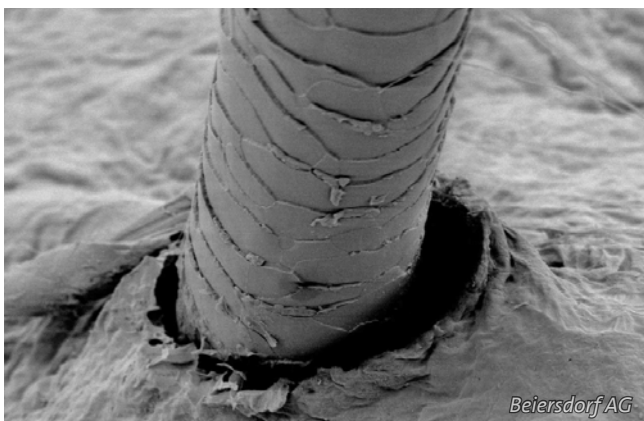


## Nanotechnologie...

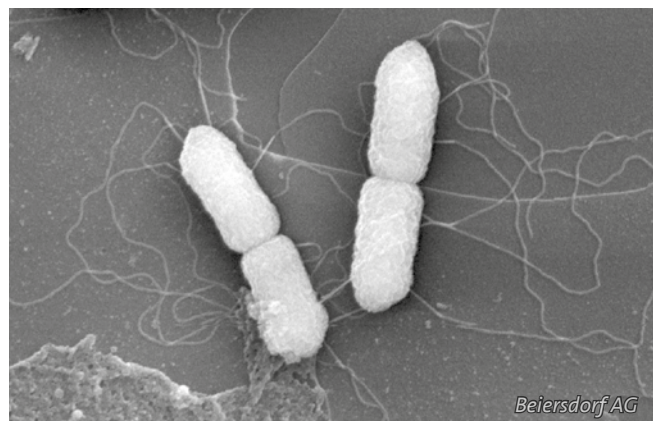
... ist der Oberbegriff für den Wissenschafts- und Technologiezweig, der sich der Erforschung, Bearbeitung und Produktion von Gegenständen und Strukturen widmet, die mindestens in einer Dimension **kleiner als 100 Nanometer** sind. Nicht selten spielen hier sogar einzelne Atome und Moleküle eine wichtige Rolle.

## 100 Nanometer – das Tor zum Nanokosmos

Unsere Kopfhare sind 700 mal dicker als 100 Nanometer und wachsen pro Sekunde ca. 3 Nanometer. Selbst die kleinsten Lebewesen der Erde, die Bakterien, sind 2 bis 50 mal größer als 100 Nanometer, was der Grenze zum Nanokosmos entspricht. Lymphozyten sind ca. 50 mal größer und Cholera-Bakterien liegen 25 mal über 100 Nanometern. Viren sind dagegen Objekte des Nanokosmos. Der Blauzungenvirus hat zum Beispiel die Abmessung von ca. 50 Nanometern.



Kopfhare, elektronenmikroskopische Aufnahme



Sich teilende Bakterien, elektronenmikroskopisches Bild

# Der Nanokosmos – eine andere Welt

## Eine Quantenwelt

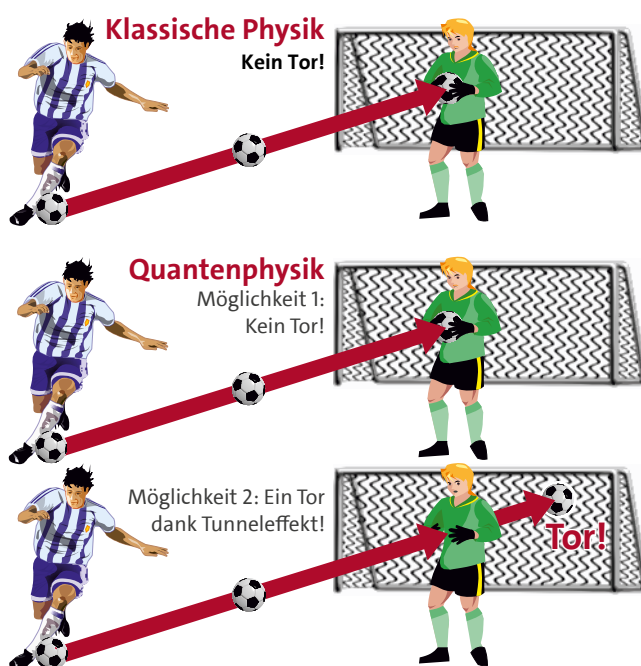
Objekte der Nanotechnologie sind so klein, dass man die Atome und Moleküle zählen kann, aus denen sie bestehen. Für Atome und Moleküle gelten **andere physikalische Gesetze** als in unserer makroskopischen Welt, die Gesetze der „**Quantenphysik**“. Diese setzt der Miniaturisierung unserer herkömmlichen Technik zwar Grenzen, ist aber auch eine **Quelle neuer Möglichkeiten** und neuartiger Materialeigenschaften.

## Beispiel für die Quantenphysik: Der Tunneleffekt

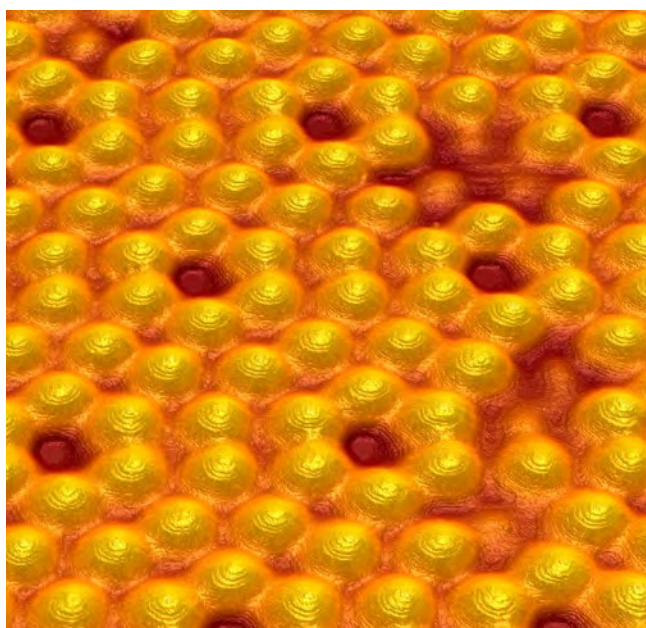
In der klassischen Physik haben Teilchen immer **einen bestimmten Zustand**. In der Quantenphysik gibt es dagegen **unendlich viele Zustände** und **Mischzustände**, bei denen sich ein Teilchen so verhält, als wäre es an zwei Orten gleichzeitig.

Würde die Quantenphysik auch unsere Alltagswelt beherrschen, wäre das eine Katastrophe für alle Fußballfans. Ein Ball, der dem Torwart direkt in die Arme fliegt, könnte durch diesen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit einfach „hindurch tunneln“. Der arme Mann im Tor würde davon zwar vermutlich nichts merken, der Leistungssport jedoch einmal mehr zum Glücksspiel mutieren.

Dieses Beispiel verdeutlicht den „**Quantenmechanischen Tunneleffekt**“, der in Flash-Speicherkarten (Seite 16) von Digitalkameras und Smartphones verwendet wird, aber auch bei der Kernfusion in Sternen eine entscheidende Rolle spielt.



## Im Nanokosmos sind wir vollständig blind



Einzelne Atome auf der Oberfläche eines Siliziumkristalls, aufgenommen mit einem Rastertunnelmikroskop.

**Der Nanokosmos ist unsichtbar.** Alles, was in dieser Welt existiert, ist viel kleiner als die kleinsten Wellenlängen des sichtbaren Lichtes und bleibt damit unseren Augen für immer verborgen, selbst unter Zuhilfenahme des besten optischen Mikroskops. Die seit über 400 Jahren bekannten optischen Mikroskope nutzen die Welleneigenschaft des Lichtes. Sind diese Wellen für den Nanokosmos zu groß, liegt die Idee nahe, eine Strahlung mit kleineren Wellenlängen zu nutzen. Genau das wird bei der Röntgen- und der Elektronenmikroskopie getan. Insbesondere die Elektronenmikroskopie ist zu einem Standardwerkzeug der Nanotechnologie geworden.

Doch man muss sich dem Nanokosmos nicht ausschließlich mit Wellen – nach dem Prinzip „Auge“ – nähern, man kann ihn auch fühlen. Genau das ist die Strategie der Rastersondenmikroskope (ab S. 10): Sie ertasten Oberflächen – in einigen Fällen sogar bis aufs einzelne Atom genau.

# Neuartige Materialeigenschaften

## Quantenmechanisches Verhalten



### „Neue“ Technische Physik durch Änderung von

- Farbe, Transparenz
- Härte
- Magnetismus
- elektrischer Leitfähigkeit

## Vergrößerte Oberfläche



### „Neue“ Chemieprozesse durch Änderung von

- Schmelz- und Siedepunkt
- chemischer Reaktivität
- katalytischer Ausbeute

## Molekulare Erkennung



### „Neue“ Bioanwendungen durch Kombination mit

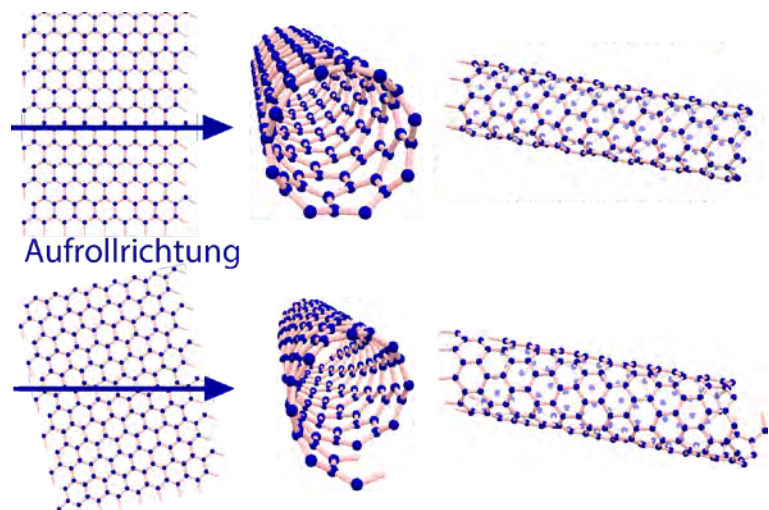
- Selbstorganisation
- Reparaturfähigkeit
- Erkennungsfähigkeit

Die **Nanotechnologie ist interdisziplinär** und umfasst alle Wissenschafts- und Technikzweige, die sich mit dem nanoskaligen Bereich beschäftigen. Dabei umschließt sie Physik, Chemie und Biologie und ist somit keine neue Naturwissenschaft, sondern vielmehr ein **Sammelbegriff für alle verwendeten Technologien**.

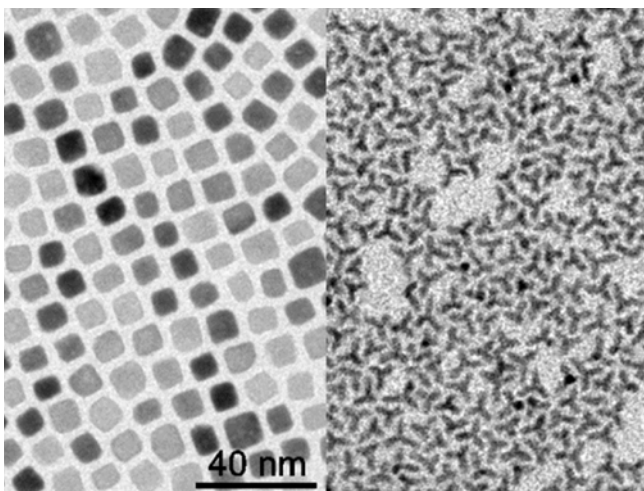
## Beispiel: Elektrische Leitungen im Nanokosmos

Ein Kohlenstoffnanoröhrchen ist ein Gitter aus Kohlenstoffatomen mit sechseckigen Maschen, das zu einer Röhre aufgerollt ist. Diese kleinen Röhrrchen könnten die Elektronik revolutionieren: Denn je nachdem, wie das Kohlenstoffnanoröhrchen gewickelt ist, hat es die elektronischen Eigenschaften eines leitenden oder eines halbleitenden Materials. Fast alle elektronischen Bauelemente könnten zukünftig durch Nanoröhrchen ersetzt werden.

*Je nachdem, wie die Kohlenstoffnanoröhrchen „gewickelt“ sind, ändern sich ihre elektronischen Eigenschaften.*



## Beispiel: Materialien mit neuen Eigenschaften



Aus kleinsten Nanopartikeln, mit einem Durchmesser von wenigen Nanometern, lassen sich neue Materialien herstellen, die über maßgeschneiderte mechanische, elektrische, optische, magnetische oder chemische Eigenschaften verfügen, wie z. B. härtere Metalle, weichere oder hitzebeständigere Keramiken, leitfähige Kunststoffe und intelligente Werkstoffe, die bei Anlegen einer elektrischen Spannung Farbe oder Form verändern. Eine Welt voller neuer Möglichkeiten!

*Verschiedene Nanopartikel unter einem Elektronenmikroskop (Bild: Institut für Physikalische Chemie, Universität Hamburg)*



# Nanotechnologie in der Natur

Die Natur liefert die schönsten Beispiele aus dem Nanokosmos, denn sie nutzt bereits seit Jahrtausenden Methoden und Effekte der Nanotechnologie.



Viele Pflanzen, Insekten und Vögel verfügen über einen Selbstreinigungsmechanismus, den „**Lotus-Effekt**®“. Die Ursache für diesen Effekt liegt in einer besonderen Oberflächenstruktur. Auf den Blättern befinden sich winzige, dicht zusammenstehende Noppen, die aus wasserabweisenden wachsartigen Substanzen bestehen und die Kontaktfläche für Wasser und Schmutzpartikel auf ein Minimum reduzieren. Dadurch bleiben Schmutzpartikel nur sehr schlecht haften und es genügt etwas Wasser, um die Oberfläche rückstandslos zu reinigen.



Die Echse „**Apothekerskink**“ wird auch „**Sandfisch**“ genannt, da sie sich im feinen Wüstensand mit ähnlichen Bewegungen wie ein Fisch im Wasser fortbewegt. Die Haut des Tieres weist winzige dornenartige Fortsätze auf (ca. 40 Nanometer groß) und hat abriebs- und reibungsarme Eigenschaften, die man „**Sandfisch-Effekt**“ nennt. Mit dessen Hilfe können sich die Reptilien sehr schnell im Sand fortbewegen. Es hat sich gezeigt, dass die Schuppen dieser Reptilien abriebs- und reibungsärmer als konventionelle Werkstoffe wie z. B. Stahl sind.

## Blauer Morphofalter

Die Flügeloberseiten des männlichen Morphofalters sind leuchtend metallisch blau. Die prächtige Flügelfärbung auf der Oberseite wurde im Laufe der Evolution entwickelt und enthält keine Farbpigmente. Die intensiv leuchtende Färbung wird durch die Beugung des Lichts an den nanostrukturierten Schuppen auf den Flügeln verursacht. Die dreidimensionale Oberflächenstruktur der Flügelschuppen ist so angeordnet, dass aus jeder Richtung nur der Blauanteil des Lichtes reflektiert wird. Dadurch sehen die Flügel des Morphofalters immer blau aus.



Exponat

## Gecko

An Wänden hochzulaufen ist für Geckos kein Problem. Verantwortlich dafür sind winzige Haare an den Fußsohlen, die sich an den Spitzen in Plättchen von ca. 15 nm Breite aufspalten. Zwischen den Atomen an den Haarspitzen und den Atomen der Oberfläche wirken schwache Anziehungskräfte, die sogenannten „Van-der-Waals-Kräfte“. Bei wenigen Kontaktflächen würden diese Kräfte nicht ausreichen, um das Tier an der Decke zu halten, aber mit Hilfe der unzähligen Härchen summieren sich die Anziehungskräfte und sorgen dafür, dass der Gecko der Schwerkraft trotzen kann. *Hinweis: In der Ausstellung sind Modelle und keine lebenden Tiere zu sehen.*



Exponat

# Die Ursprünge der Nanotechnologie

Nanotechnologie bzw. Effekte der Nanotechnologie werden schon seit langer Zeit von der Menschheit verwendet: In Mesopotamien und Ägypten wurden bereits vor 3.400 Jahren funkelnde Oberflächen auf Keramiken mit metallischen Nanopartikeln erzeugt. Der seit 2.000 Jahren hergestellte Damaszenerstahl verdankt zum Beispiel seine speziellen Eigenschaften Kohlenstoffnanoröhrchen, die bei dem aufwendigen Herstellungsprozess im Stahl entstehen. Die Römer dichteten ihre günstigen Alltagskeramiken mit Hilfe von Nanopartikeln ab. Im Mittelalter verwendete man für rote Kirchenfenster Glas mit Gold-Nanopartikeln, die Ursprünge der Herstellung von diesem sogenannten Rubinglas sind jedoch viel älter.

Allerdings ist bei all diesen Beispielen die Verwendung von Effekten der Nanotechnologie rein zufällig erfolgt. Die eigentlichen Ursprünge der Nanowissenschaften und der Nanotechnologie liegen in der Mitte des letzten Jahrhunderts.

## 1959

Richard Feynman hält vor der Amerikanischen Physikalischen Gesellschaft die visionäre Rede „There's Plenty of Room at the Bottom“ (Es ist viel Platz da unten), in der er viele Aspekte der Nanotechnologie vorhersagt.



Tamiko Thiel 1984

„Ich sehe keine Prinzipien der Physik, die der Möglichkeit entgegenstehen, etwas Atom für Atom zu verändern.“

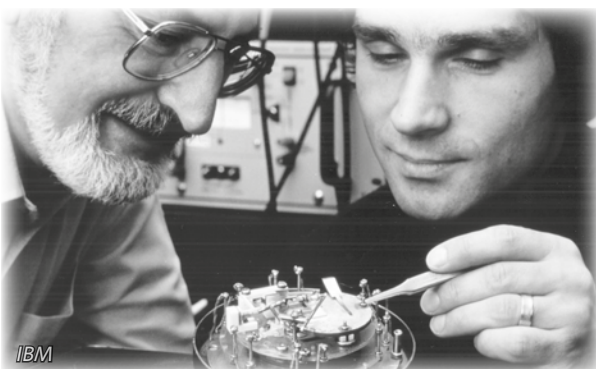
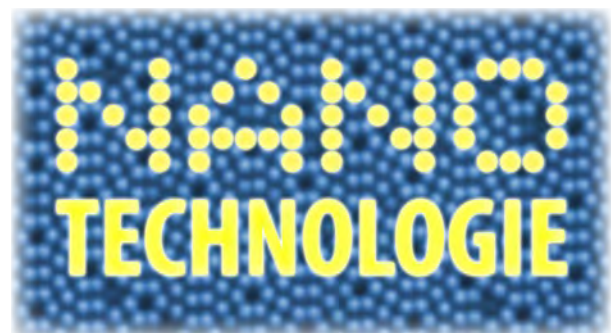


## 1968

Alfred Y. Cho und John Arthur von den Bell-Laboratorien entwickeln ein Standard-Werkzeug der heutigen Nanotechnologie, die Molekularstrahlepitaxie, eine Technik, um einzelne Atomschichten abzuscheiden.

## 1974

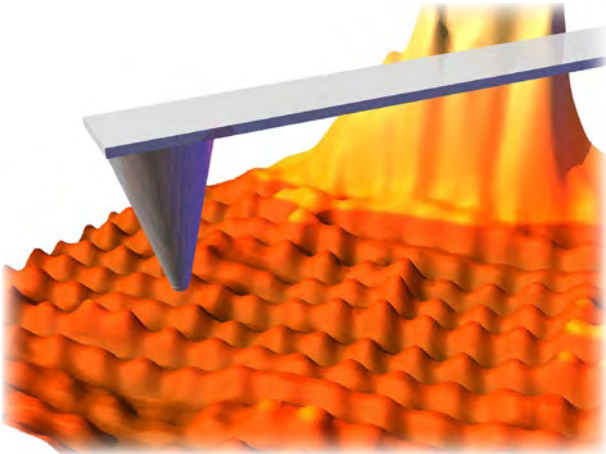
Der japanische Ingenieurwissenschaftler Norio Taniguchi prägt das erste Mal den Begriff „Nanotechnologie“. Der Terminus umfasst für ihn eine Veränderung von Materialien mit extrem hoher Präzision bis zu Veränderungen Atom für Atom.



## 1981

Gerd Binnig und Heinrich Rohrer bauen das erste Rastertunnelmikroskop. Mit diesem Gerät lassen sich einzelne Atome einer elektrisch leitfähigen Oberfläche abbilden (Nobelpreis für Physik 1986).

# Die Ursprünge der Nanotechnologie

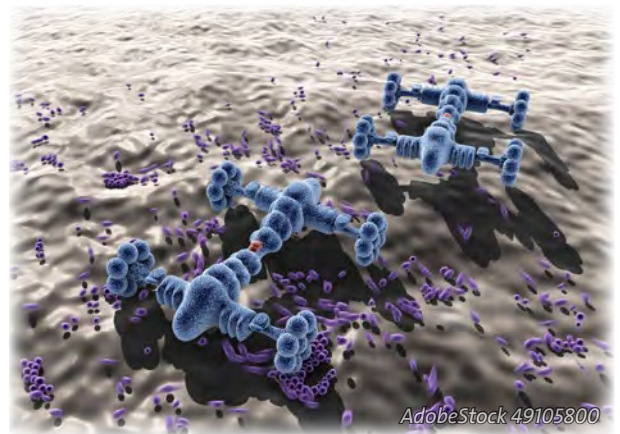


## 1986

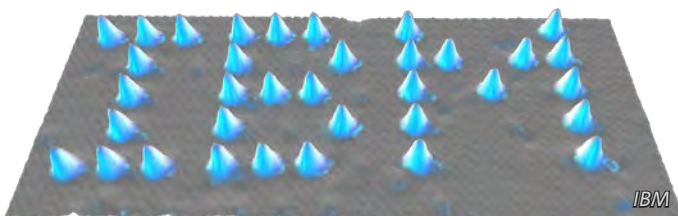
Gerd Binnig, Calvin Quate und Christoph Gerber präsentieren das erste Rasterkraftmikroskop. Dieses Mikroskop ermöglicht auch die Abbildung elektrisch nicht leitfähiger Materialien zunächst auf wenige Nanometer genau, später mit atomarer Auflösung.

## 1986

Unabhängig von Taniguchi macht Eric Drexler den Begriff „Nanotechnologie“ weithin bekannt. Obwohl Drexlers Vision damals wie heute von vielen Wissenschaftlern skeptisch gesehen wird, inspiriert er mit seinem Buch „Engines of Creation“ viele Forscher, sich intensiv mit der Nanotechnologie zu beschäftigen.



AdobeStock 49105800



## 1990

Donald Eigler und Erhard Schweizer gelingt es, mit Hilfe eines Rastertunnelmikroskops einzelne Atome zu bewegen. Sie „schreiben“ das IBM-Logo mit 35 Xenonatomen auf einen Nickelkristall.

## 1991

Der Japaner Sunio Iijima entdeckt Kohlenstoffnanoröhrchen, wenige Nanometer kleine Röhrchen aus Kohlenstoff mit ungewöhnlichen Eigenschaften. Sie könnten sowohl für elektronische Bauelemente in molekularer Größenordnung als auch zur Herstellung besonders leichter und fester Nanomaterialien verwendet werden.



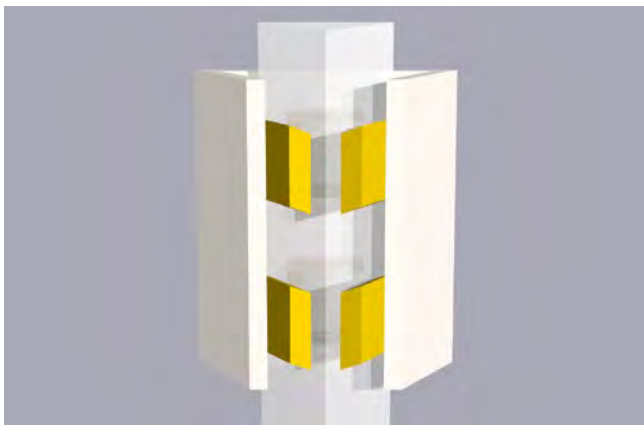
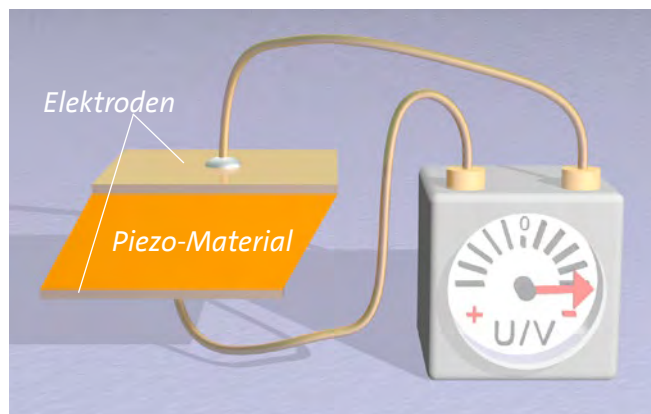
# Rastersondenmethoden

## Wer nicht sehen kann, muss fühlen

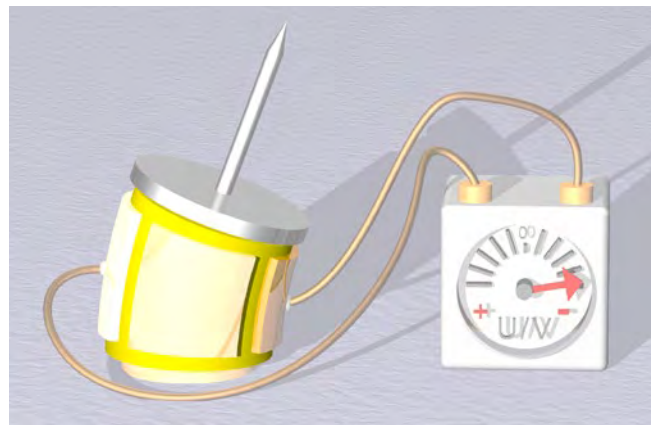
Wer nicht sehen kann, muss sich nicht unbedingt eine Brille zulegen: In einigen Fällen ist es vorteilhaft, seine Umwelt zu ertasten. Genau das machen Rastersondenmikroskope: Sie ertasten ihre Umwelt mit feinsten und zum Teil hochspezialisierten Sonden. Dabei ist es nicht nur möglich, Oberflächenstrukturen bis aufs Atom genau sichtbar zu machen, sondern Rastersondenmikroskope erfühlen auch Materialeigenschaften wie Magnetismus, elektrische Leitfähigkeit, Adhäsion (Klebrigkeit), Rauigkeit, Elastizität und einiges mehr. Außerdem können Rastersondenmikroskope unter den unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen betrieben werden: im Vakuum, in Luft oder diversen Gasen, in Flüssigkeiten, in Magnetfeldern, in elektrischen Feldern oder bei unterschiedlichen Temperaturen.

## Steuerung mit atomarer Präzision

Alle Rastersondenmethoden haben gemeinsam, dass sie die Messsonde mit atomarer Präzision auf der Probe positionieren können. Dieses kleine Wunder gelingt mit Motoren aus Piezo-Material. Solche Materialien lassen sich mit einer elektrischen Spannung kontrolliert verformen oder sie erzeugen bei Einwirkung einer mechanischen Kraft eine elektrische Spannung. In den meisten Rastersondenmikroskopen gibt es zwei Sorten solcher Nanomotoren: sogenannte „Walker“ zur Grobjustierung und „Röhrenscanner“ für kleinere, noch präzisere Bewegungen.



Ein „Walker“ ist eine Röhre, in der kleine Piezo-Beinchen befestigt sind. Diese Beinchen halten einen Saphirstab mit dreieckigem Querschnitt fest. Für jeden Schritt, den der Motor macht, werden zuerst alle Piezo-Beinchen nacheinander ausgelenkt. Anschließend kehren sie alle gleichzeitig in ihre Ruhelage zurück und tragen den Saphir so ein Stück voran. Für die Grobannäherung „kriecht“ der Saphirstab, von den Piezo-Beinchen getragen, Schritt für Schritt nach oben bzw. unten. Je nach Konstruktion des Mikroskops ist am Ende des Saphirstabes die Probe oder die Sonde befestigt.



Das Herz eines Rastersondenmikroskops ist der Röhrenscanner. Das ist Piezo-Material in Form einer Röhre mit einer Innenelektrode und einer in vier Quadranten aufgeteilten Außenelektrode. Durch eine elektrische Spannung zwischen der Innen- und den Außenelektroden wird die Röhre gestreckt oder gestaucht. Eine Seite des Scanners kann gedehnt und die andere Seite gestaucht werden, wodurch sich der Scanner verbiegt. Auf diese Weise kann die Sonde oder die Probe auf den Bruchteil eines Atomdurchmessers genau positioniert werden, und zwar in allen drei Raumrichtungen.

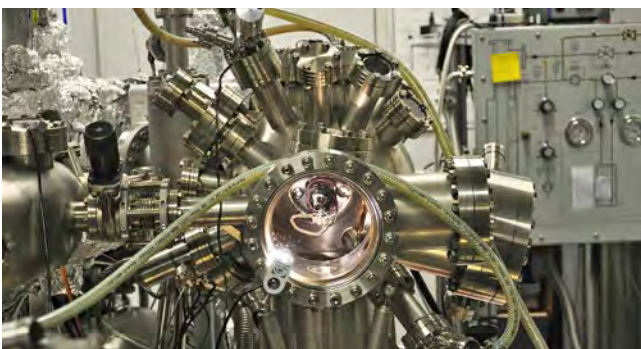
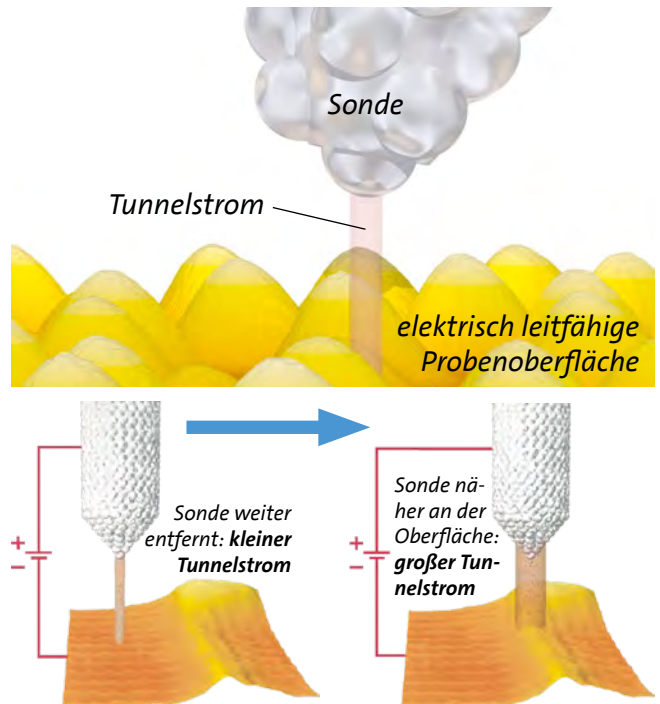
# Tastfinger im Nanokosmos

Die Rastersondenmikroskope lassen sich grob in zwei Familien aufteilen: **Rastertunnelmikroskope** und **Rasterkraftmikroskope**. Alle anderen Typen sind an die Grundprinzipien dieser Verfahren angelehnt.

## Rastertunnelmikroskopie

Rastertunnelmikroskope messen einen schwachen Strom, der zwischen Sonde und Probenoberfläche fließt. Da sich Probe und Sonde nicht berühren, dürfte hier eigentlich kein Strom fließen. Aber im Nanokosmos gelten andere Gesetze. Nähern sich Sonde und Probe auf nur wenige Atomdurchmesser, dann fließt ein „Tunnelstrom“, der dieser Mikroskopie auch seinen Namen gegeben hat.

Das Besondere am Tunnelstrom: Er reagiert äußerst sensibel auch auf kleinste Abstandsänderungen zwischen der Sonde des Mikroskops und der Probe. Der Tunnelstrom wird daher fast ausschließlich vom Abstand des äußersten Sondenatoms zum nächstgelegenen Atom oder Molekül der Probe bestimmt. Dadurch kann aus dem Tunnelstrom Punkt für Punkt ein Abbild der Oberfläche bzw. der elektronischen Eigenschaften der Probenoberfläche rekonstruiert werden.



Das eigentliche Rastersondenmikroskop ist nicht sehr groß, allerdings füllen die vollständigen Geräte einen ganzen Raum oder erstrecken sich über mehrere Räume bzw. über mehrere Etagen. Wie kommt das?

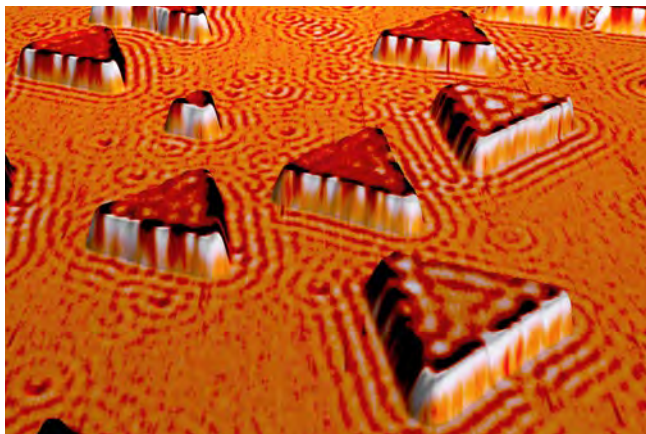
Um Messungen mit atomarer Präzision durchzuführen, muss man bei sehr niedrigen Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt bei ca.  $-273\text{ °C}$  arbeiten, da sich sonst die Nanostrukturen, Moleküle oder Einzelatome zu stark bewegen und nicht sinnvoll messbar sind. Deshalb kommen die Mikroskope in eine riesige Thermoskanne, die mit flüssigem Stickstoff und flüssigem Helium gekühlt wird.

Weiterhin muss im Ultrahochvakuum gearbeitet werden, um die Verschmutzung und Oxidation der atomar glatten Probenoberflächen zu verhindern.

Also werden verschiedene Vakuumkammern benötigt, um die Proben zu reinigen und für die Messung vorzubereiten, sowie verschiedene Apparaturen, mit denen die Proben manipuliert und von Kammer zu Kammer bewegt werden können.

Außerdem müssen die Mikroskope absolut erschütterungsfrei gelagert werden. Ohne Schwingungsisolierung würden schon die Schritte des Experimentators oder ein vor dem Haus vorbeifahrendes Auto eine Messung stören. Je nach Anwendung reichen die Maßnahmen zur Schwingungsisolierung von gefederten Aufhängungen bis hin zu Messplätzen mit separaten Fundamenten.

Bei einigen Geräten kann weiterhin ein äußeres Magnetfeld angelegt werden. In diesem Fall kommt dann noch eine große Magnetspule hinzu.



## Rastertunnelspektroskopie

Bei der Spektroskopie wird an jedem Messpunkt zusätzlich auch noch die Spannung zwischen Sonde und Probe variiert. Auf diese Weise lässt sich zum Beispiel die elektrische Leitfähigkeit einer Probe, mit einer örtlichen Genauigkeit von Bruchteilen eines Atomdurchmessers, bestimmen.

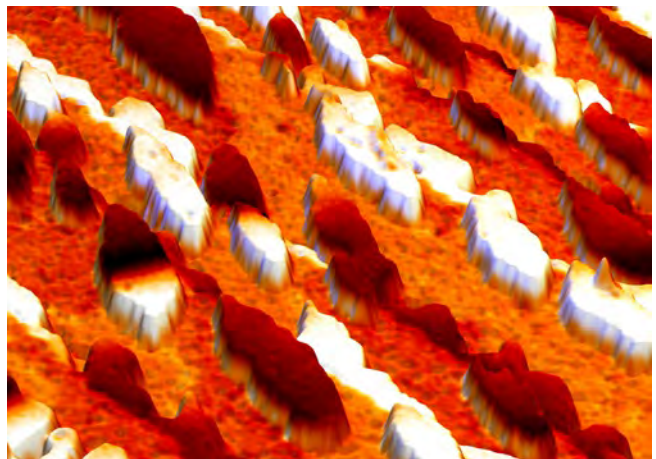
Mit diesem Verfahren werden z. B. sogenannte dotierte Halbleiter untersucht, wie sie beim Bau von Transistoren oder Mikrochips Verwendung finden.

*Bild: Mit Rastertunnelspektroskopie können Elektronenwellen auf einer Oberfläche sichtbar gemacht werden.*

## Spinpolarisierte Rastertunnelmikroskopie

Sind sowohl die Sonde des Rastertunnelmikroskopes als auch die Probe magnetisch, dann ist der Tunnelstrom von der Magnetisierungsrichtung abhängig. Weist das magnetische Feld von Spitze und Probe in die gleiche Richtung, dann ist der Tunnelstrom höher als im entgegengesetzten Fall. Mit einem spinpolarisierten Rastertunnelmikroskop lassen sich sogar die magnetischen Eigenschaften einzelner Atome sichtbar machen.

*Bild: winzige magnetische Eiseninseln, jeweils nur ein Atom hoch sowie nur wenige Atome lang. Der magnetische Nord- und Südpol sind schwarz und weiß markiert.*



Exponat



## Rastertunnelmikroskop

Rastersondenmikroskope sind nicht sehr groß. Was sie im Labor so gewaltig erscheinen lässt, ist in der Regel nur die Hülle des Gerätes, die es zum Beispiel ermöglicht, bei sehr tiefen Temperaturen zu messen. Das abgebildete Mikroskop wurde von dem Physiker Bernd Zenker während seiner Diplomarbeit konstruiert und ist in der Lage, einzelne Atome sichtbar zu machen.

**Anwendung:** Abbildung der Oberflächenstruktur und elektrischer Eigenschaften von leitfähigen festen Materialien bis aufs Atom genau.

Universität Hamburg, Fachbereich Physik

Arbeitsgruppe „Rastersondenmethoden“ von Prof. Dr. R. Wiesendanger, Jungiusstraße 11, D-20355 Hamburg

Internet: <http://www.nanoscience.de>

Exponat



## Bausatz: Schüler-Rastertunnelmikroskop

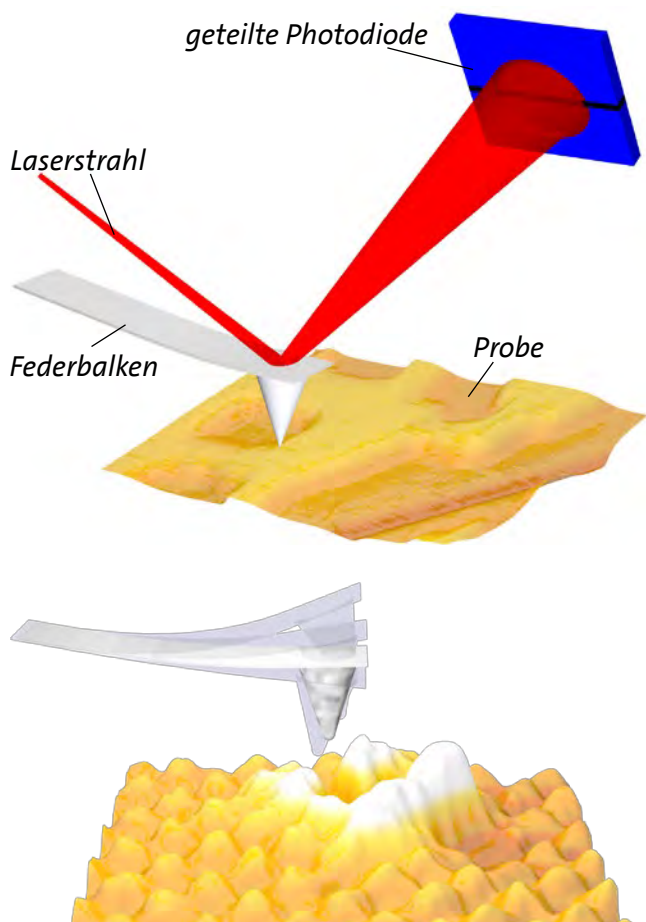
Mit dem abgebildeten Bausatz können auch Schulklassen oder geübte Laien ein Rastertunnel- oder ein Rasterkraftmikroskop bauen. Dieser Bausatz wurde an der Koordinationsstelle Münster des Kompetenzzentrums Nanoanalytik entwickelt.

**Anwendung:** Nicht mehr erhältlicher Schülerbausatz für ehemals ca. 800 €, der die Abbildung der Oberflächenstruktur von leitfähigen festen Materialien erlaubt, allerdings aufgrund seines Aufbaus nicht bis aufs Atom genau

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Interface Physics Group, Wilhelm-Klemm-Str. 10, D-48149 Münster

Internet: <http://www.uni-muenster.de>



## Rasterkraftmikroskopie

Das Prinzip eines Rasterkraftmikroskopes ist denkbar einfach. Die Sonde liegt auf der Probe wie die Nadel eines Schallplattenspielers auf einer Langspielplatte. Die Sonde ist am Ende eines Federbalkens befestigt. Wenn sie über das Oberflächenrelief einer Probe rastert, werden die winzigen Auslenkungen des Federbalkens mit einem Laserstrahl detektiert. Aus der Auslenkung des Federbalkens werden die mikroskopischen Bilder rekonstruiert. Im Gegensatz zu Rastertunnelmikroskopen können Rasterkraftmikroskope prinzipiell jedes feste Material untersuchen, sogar in diversen Umgebungen wie Luft, Gasen oder auch Flüssigkeiten. Messungen können bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt werden.

Im „Nicht-Kontakt-Modus“ wird der Federbalken mit der Sonde in Schwingungen versetzt. Wenn sich die schwingende Sonde der Probe annähert, ändert sich die Schwingungsfrequenz des Federbalkens. Dies geschieht sogar dann, wenn die Sonde noch über der Probe schwingt, sie also nicht berührt. Damit können Veränderungen der Probenoberfläche durch die Sonde ausgeschlossen werden.

### Rasterkraftmikroskop

Ausgestellt ist hier das erste an der Universität Hamburg entwickelte und gebaute Ultrahochvakuum- und Niedrigtemperatur-Rasterkraftmikroskop, das in der Lage ist, einzelne Atome sichtbar zu machen. Es wurde von den Physikern Wolf Allers und Alexander Schwarz konstruiert und von der mechanischen Werkstatt gebaut.

**Anwendung:** Abbildung von Oberflächenstrukturen nichtleitender Materialien bis aufs Atom genau

Universität Hamburg, Fachbereich Physik

Arbeitsgruppe „Rastersondenmethoden“ von Prof. Dr. R. Wiesendanger, Jungiusstraße 11, D-20355 Hamburg

Internet: <http://www.nanoscience.de>



Exponat

### Portables Rasterkraftmikroskop

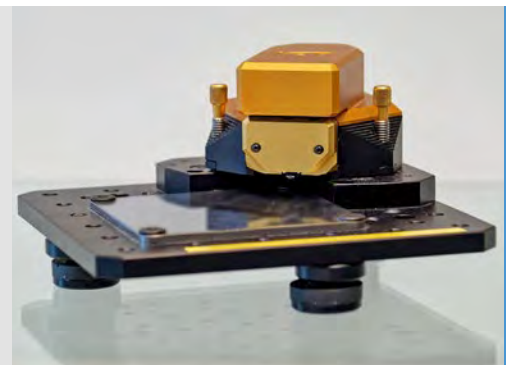
Bei dem Exponat handelt es sich um ein portables Rasterkraftmikroskop, das Strukturen erkennen kann, die nur wenige Nanometer groß sind.

**Anwendung:** Es ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in Wissenschaft und Industrie. Da der eigentliche Messvorgang rein mechanisch ist, können nichtleitende Proben (z. B. biologisches Material in wässrigen Lösungen) untersucht werden.

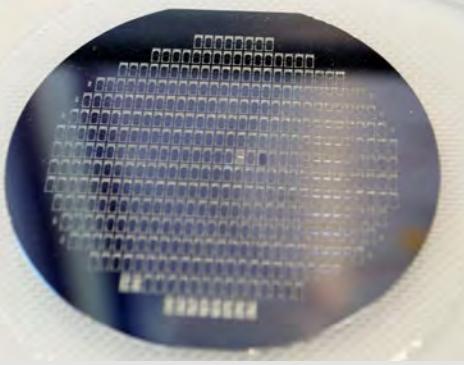
Nanosurf AG, Instruments for Nanoscience

Grammetstraße 14, 4410 Liestal, Schweiz

Internet: <http://www.nanosurf.ch>



Exponat



## Sonden- bzw. Federbalken-Wafer

Sonden für die Rasterkraftmikroskopie lassen sich auch in Serie anfertigen. Dies geschieht – ähnlich wie bei Computerchips – auf sogenannten Wafern.

**Anwendung:** Abbildung von Oberflächenstrukturen nichtleitender Materialien bis aufs Atom genau

NANOSENSORS  
Rue Jaquet-Droz 1, 007 Neuchatel, Schweiz  
Internet: <http://www.nanosensors.de>



## Einzelne Sonden eines Rasterkraftmikroskops

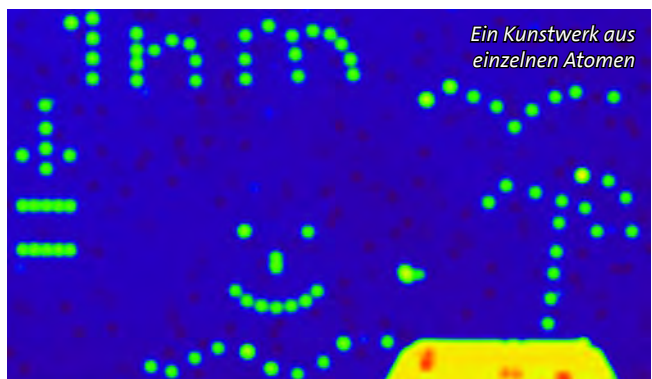
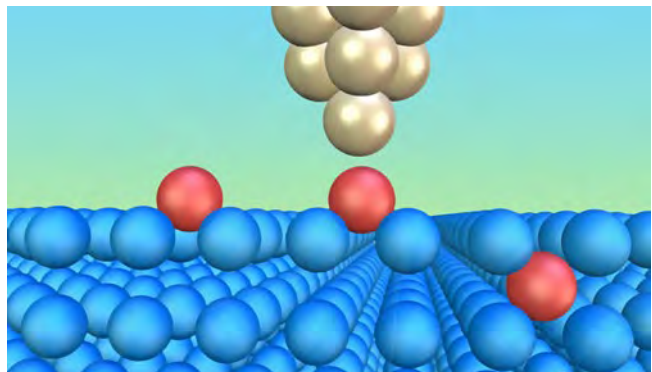
Unter einem optischen Mikroskop kann der Besucher eine Sonde für Rasterkraftmikroskope betrachten und bekommt so ein Gefühl für die feinen Strukturen dieser „Nano-Finger“. Man sieht nur den Federbalken, die eigentliche Sonde ist für das optische Mikroskop viel zu klein, um sie darzustellen.

NANOSENSORS  
Rue Jaquet-Droz 1, 2007 Neuchatel, Schweiz  
Internet: <http://www.nanosensors.de>

# Atom-Manipulation: Rastersondenmikroskope als Werkzeug

Rastersondenmikroskope können einzelne Atome und Moleküle nicht nur abbilden, sie können sie auch bewegen. Dabei gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Atome oder Moleküle können in eine Oberfläche gedrückt oder wie mit einem Kran an einer Stelle angehoben und an einer anderen definierten Stelle wieder abgesetzt werden. Die aufsehenerregendsten Experimente gelangen hier dem amerikanischen Physiker Don Eigler. Schon 1991 verblüffte er die Weltöffentlichkeit, als er mit 35 Xenonatomen den Schriftzug „IBM“ erzeugte. Der kleinste Zwerg der Welt entstand aus 28 Kohlenmonoxid-Molekülen auf einer Platinoberfläche. Im Jahr 2013 veröffentlichte IBM mit „A Boy And His Atom“ den kleinsten Trickfilm der Welt.

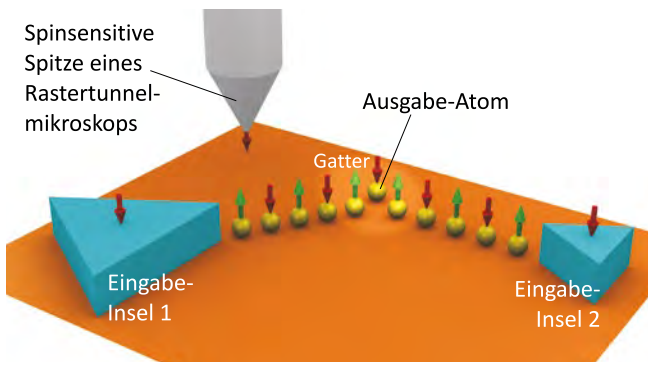
Da es möglich ist, einzelne Atome hin- und herzuschieben, kann man künstliche Strukturen zum Beispiel für die Nano-Spintronik konstruieren. Aber ist es auch möglich, auf diese Weise neue Moleküle Atom für Atom zu bauen? Tatsächlich ist es bereits gelungen, mit einem Rastertunnelmikroskop eine komplette chemische Reaktion durchzuführen.



Ein Kunstwerk aus einzelnen Atomen



# Nano-Spintronik



Jeder Besitzer eines mobilen Computers kennt das Problem: Den leistungsfähigen Geräten geht oft viel zu schnell die Puste aus, da der Akku wie von Zauberhand schon wieder leer ist. Schuld daran ist die herkömmliche Halbleiter-Elektronik, die zur Datenverarbeitung die elektrische Ladung von Elektronen nutzt. Einen vielversprechenden Lösungsansatz bietet die Spintronik. Bei dieser Technologie wird **nicht die Ladung der Elektronen** genutzt, sondern deren „**Spin**“. Dieser Elektronen-Spin ist eine quantenmechanische Eigenschaft und kann vereinfacht als Drehung der Elektronen um ihre eigene Achse verstanden werden. Diese Drehung erzeugt ein magnetisches Moment und daher kann man ein einzelnes Elektron stark vereinfacht als winzige Kompassnadel ansehen, die, je nachdem wie herum sich das Elektron dreht, in die eine oder andere Richtung zeigt.

2011 konnte in Hamburg erstmals ein funktionierendes Spintronik-Logik-Bauteil konstruiert werden, das aus einzelnen Atomen aufgebaut ist. Es verbraucht nahezu keine Energie, da kein Ladungstransport nötig ist, sondern nur die magnetische Ausrichtung umgeschaltet wird. Nach dem Abschalten des Logikbauteils bleiben alle Informationen erhalten, da die Daten magnetisch gespeichert sind. Diese Demonstration zeigte, wie zukünftige Computerbausteine aussehen könnten: atomar klein, bis zu 10.000 Gigahertz schnell, fast ohne Stromverbrauch und sofort betriebsbereit.

Die dreieckigen Strukturen (Abb. oben) sind Kobalt-Inseln und die gelben Kugeln symbolisieren Eisen-Atome. Die roten und grünen Pfeile zeigen die magnetische Ausrichtung, also den Spin, an. Zeigen die Spins einer oder beider Eingabe-Inseln nach oben, so wird auch der Spin des Ausgabe-Atoms nach oben ausgerichtet. Zeigt der Spin von beiden Inseln nach unten, dann zeigt auch der Spin der Ausgabe nach unten.

## Verschiedene Intel Pentium-CPU's

Abgebildet sind Intel Pentium-Hauptprozessoren aus verschiedenen Jahren. Die Entwicklung der auf Silizium basierenden Computerprozessoren war in den letzten Jahrzehnten eine unglaubliche Erfolgsgeschichte: Hatten die kleinsten Einheiten auf der INTEL CPU Pentium III im Jahr 1999 noch eine Strukturgröße von 180 Nanometern, liegen aktuelle Modelle bei Strukturgrößen von weit unter 20 Nanometer.

**Anwendung:** Herkömmliche Hauptprozessoren für Notebooks, Laptops und Desktop-Computer (PC)

**Intel Corporation**  
2200 Mission College Blvd. Santa Clara, CA 95054-1549, USA  
Internet: <http://www.intel.de>



Exponat

## Nano-Spintronik-Logik-Bauteil-Modell

Ausgestellt wird ein Modell zur Veranschaulichung eines Spintronik-Logik-Bauteils. Im Gegensatz zur herkömmlichen Halbleiter-Elektronik, wie z. B. in den verschiedenen Intel-Prozessoren, wird bei der Spintronik nicht die Ladung von Elektronen für die Informationsverarbeitung genutzt, sondern die quantenmechanische Eigenschaft „Elektronen-Spin“.

**Anwendung:** Zukünftige Computerbausteine, die atomar klein wären, bis zu 10.000 Gigahertz schnell und fast ohne Stromverbrauch arbeiten könnten

**Universität Hamburg, Fachbereich Physik**  
Arbeitsgruppe „Rastersondenmethoden“ von Prof. Dr. R. Wiesendanger, Jungiusstraße 11, D-20355 Hamburg  
Internet: <http://www.nanoscience.de>

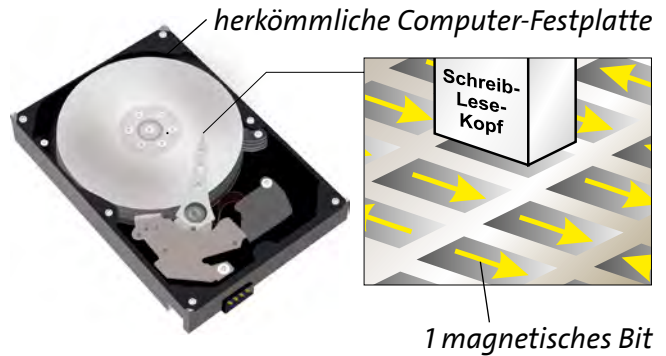


Exponat

# Digitale Datenspeicher

**Magnetische Computer-Festplatten** wurden in den letzten Jahrzehnten immer kleiner und können dennoch mehr Daten fassen. Das ist nur möglich, weil die magnetischen Datenbits auf den Datenträgern immer kleiner werden. Diese Strukturen in Computer-Festplatten sind heute so klein, dass diese Technologie die 100-Nanometer-Grenze zur Nanotechnologie längst unterschritten hat.

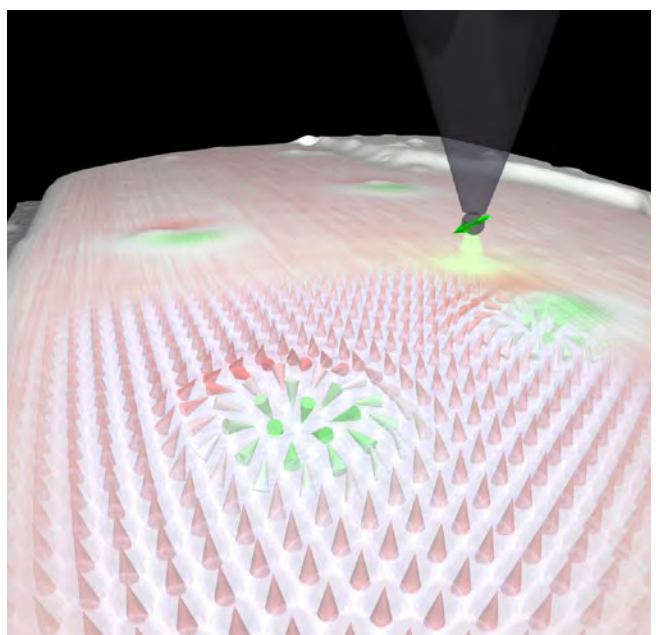
Das Funktionsprinzip von heutigen Computer-Festplatten: Zum „Lesen“ fährt der Schreib-Lese-Kopf alle magnetischen Bereiche, die magnetischen Bits, auf den Festplatten-Scheiben an und fragt deren magnetische Ausrichtung ab. Ein magnetisches Bit kann ähnlich dem Nord- und Südpol eines Stabmagneten zwei Zustände annehmen, die sich als „0“ und „1“ darstellen lassen. Um Daten zu „schreiben“, zwingt der Schreib-Lese-Kopf den Bits eine andere magnetische Ausrichtung auf.



**Flash-Speicher** kennt man aus microSD-Speicherkarten oder von SSD-Festplatten. Da diese energiesparende Speicher-Technologie auf Halbleitertechnik basiert, ohne bewegliche Bauteile auskommt und auch nach Abschalten der Stromversorgung die Daten dauerhaft speichert, wird sie hauptsächlich in mobilen Geräten wie in Laptops, Smartphones, MP3-Playern und USB-Sticks verwendet.

In den Speicherchips befinden sich die einzelnen Speicherzellen, die von einer wenige nanometerdicken, isolierenden Oxidschicht umgeben werden. Das Beschreiben und Löschen der Speicherzellen ist nur mit Hilfe des quantenmechanischen Tunnel-effekts möglich. Jeder Schreib- oder Löschvorgang beschädigt die Oxidschicht, bis sie die isolierende Wirkung verliert und nach 3.000 bis 100.000 Speicher- bzw. Löschzyklen unbrauchbar ist.

**Ausblick:** Ein völlig neuartiger magnetischer Speicher könnte auf den sogenannten „**Skyrmionen**“ basieren. Diese Strukturen kann man sich bildlich als zweidimensionale Knoten vorstellen, bei denen sich die magnetischen Momente mit einem einheitlichen Drehsinn innerhalb einer Ebene um 360° drehen. Diese magnetischen Knoten haben Teilchencharakter und man kann ihnen eine Art Ladung zuordnen, wodurch es möglich wird, mit einem Skyrmion den Bit-Zustand „1“ (es gibt ein Skyrmion) und „0“ (es gibt kein Skyrmion) darzustellen. Skyrmionen können mit Hilfe des elektrischen Stroms auf einer Oberfläche bewegt werden, so dass man Skyrmionen an einem fest installierten Schreib-Lese-Kopf „vorbeifließen“ lassen könnte. Damit wäre der Bau einer geräuschlosen Festplatte mit gigantischer Speicherkapazität und ohne mechanische Bauteile möglich.



## Magnetischer Datenspeicher

Magnetischer Datenspeicher, Baujahr ca. 1980 mit einer Speicherkapazität von 10 MByte.

*Keine Nanotechnologie! Nur Referenzobjekt.*

**Anwendung:** Dieses Laufwerk stammt von einer Trabrennbahn und wurde dort bis Mitte der 1990er Jahre benutzt.

Control Data Corporation – Magnetic Peripherals Inc.



Exponat

## Verschiedene Computer-Festplatten

- Baujahr 1990: 5,25 Zoll Seagate ST -296 N - 84 MB
- Baujahr 1995: 3,5 Zoll Conner CFS1275A - 1,2 GB
- Baujahr 1996: 2 Zoll Seagate ST 51080 A - 1 GB
- Baujahr 2001: 1 Zoll IBM Microdrive - 340 MB

*Keine Nanotechnologie! Nur Referenzobjekte.*

**Anwendung:** Datenspeicher für Computer

Verschiedene Hersteller



Exponat

## High-Speed-Datenträger von morgen

Nicht nur die Datenbits werden immer kleiner, auch die Schreib- und Lesköpfe müssen immer feiner und präziser werden. Eine Möglichkeit dafür ist, Lese- und Schreibköpfe wie die Sonde eines Rastersondenmikroskops zu konstruieren. In diesem Versuchsaufbau wurde ein Hochgeschwindigkeits-Nanospeichersystem erforscht.

**Anwendung:** Versuchsaufbau für einen Nanospeicher

Universität Hamburg, Fachbereich Physik

Arbeitsgruppe „Rastersondenmethoden“ von Prof. Dr. R. Wiesendanger, Jungiusstraße 11, D-20355 Hamburg

Internet: <http://www.nanoscience.de>



Exponat

## Verschiedene Flash-Speicherkarten

Die Speicherzellen von Flash-Speichern bestehen aus Halbleitermaterialien und sind von einer isolierenden Oxidschicht umgeben, die nur wenige Nanometer dick ist. Das Beschreiben und Löschen der Speicherzellen ist nur mit Hilfe eines Effekts der Nanotechnologie, dem quantenmechanischen Tunneleffekt, möglich. Die Speicherzellen von aktuellen Flash-Speichern sind nur noch 30 nm x 30 nm groß und werden immer kleiner.

**Anwendung:** Speicher für mobile Geräte

Verschiedene Hersteller

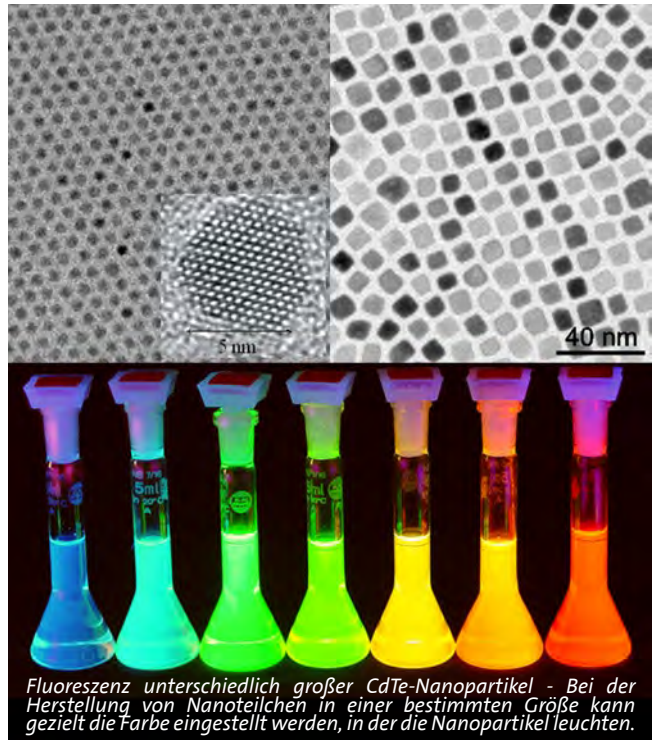


Exponat

# Nanomaterialien: Werkstoffe aus Nanopartikeln

Nanopartikel kann man sich wie winzige „Steinchen“ vorstellen, die nur aus wenigen Atomen bestehen. Je kleiner ein Partikel ist, desto höher ist sein Anteil an Atomen auf der Oberfläche. Diese Oberflächenatome haben ganz andere elektronische und chemische Eigenschaften als Atome im Inneren eines Festkörpers. Materialien aus Nanopartikeln können dadurch ganz andere mechanische, elektronische, chemische oder optische Eigenschaften haben als das Vollmaterial. In vielen Fällen lassen sich diese Materialeigenschaften sogar über die Wahl der Partikelgröße variieren und man kann mit ihnen ganz neue Materialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften entwickeln: hart, weich, elektrisch leitfähig, leuchtend, durchsichtig, magnetisch, leicht zu säubern, nicht rostend und vieles mehr...

Abbildung oben: Aufnahmen von verschiedenen Nanopartikel. Unten sind sog. Quanten-Dots zu sehen, die heute in aktuellen QLED-Fernsehern verwendet werden. (Bilder: Institut für Physikalische Chemie, Universität Hamburg)



Fluoreszenz unterschiedlich großer CdTe-Nanopartikel - Bei der Herstellung von Nanoteilchen in einer bestimmten Größe kann gezielt die Farbe eingestellt werden, in der die Nanopartikel leuchten.

Exponat



## Titandioxid-Nanopartikel – der Rohstoff

In diesem Glas befinden sich  $\text{TiO}_2$ -Nanopartikel mit einem Durchmesser von kleiner als 10 Nanometer. Wenn man das Glas schüttelt, verhält sich die Substanz wie eine Flüssigkeit.

**Anwendung:** Diese Nanopartikel sind der Rohstoff für zahlreiche Anwendungen. Das derzeit bekannteste Anwendungsbeispiel ist Sonnenschutzcreme. Wegen ihrer geringen Größe verteilen sich die Nanopartikel besonders gut auf der Haut und sind praktisch unsichtbar.

ItN Nanovation AG  
Peter-Zimmer-Straße 11, 66123 Saarbrücken  
Internet: <http://www.itn-nanovation.com>

Exponat



## Goldtinte – Nanoskaliges Gold

Die ca. 80 Nanometer großen Gold-Nanopartikel verleihen der sonst farblosen Flüssigkeit eine tiefrote Farbe, die allein aufgrund der Größe der Gold-Nanopartikel zustande kommt.

**Anwendung:** Rubinglas (rotes Glas), Gold-Tinte, Schwangerschaftstests, Krebsfrüherkennung, Tests auf Bakterien wie z. B. Salmonellen, E. coli und Campylobacter

Nanogate AG  
Zum Schacht 3, 66287 Quierschied-Göttelborn  
Internet: <http://www.nanogate.de>

## Carbon Black im Kajalstift

Die schwarze Farbe im Kajalstift besteht aus dem nanoskaligen Industrie-ruß „Carbon Black“, der durch einen unvollständigen Verbrennungsprozess von elementarem Kohlenstoff gezielt in Nanopartikelgröße hergestellt wird.

**Anwendung:** Schwarzpigment in der Lack-, Kunststoff- und Druckfarbenindustrie (z. B. Lacke und Drucker-Toner) und Autoreifen. Bei Wimperntusche oder Kajalstiften haftet der tiefschwarze Farbstoff in seiner nanoskaligen Form besonders gut und macht das Make-up beständiger, ohne in den Hautfalten zu verlaufen.

Verschiedene Hersteller



Exponat

## Wendeschnidplatten-Rohlinge

Mit höherer Härte und niedrigerer Reibung der Nanokeramik-Wendeschnidplatten aus Siliziumnitrid werden höhere Schneid- bzw. Zerspansungsleistungen erreicht als mit herkömmlichen Schnellarbeitsstählen oder Hartmetallen. Die Nanokeramiken aus Siliziumnitrid werden aus Pulvern hergestellt, deren Teilchen weniger als 100 nm Durchmesser haben.

**Anwendung:** Werkzeugindustrie, Automobilindustrie, Fertigungstechnik. Durch höhere Härte und niedrigere Reibung werden höhere Schneidleistungen erzielt als mit bisherigen Materialien.

IKTS – Fraunhoferinstitut für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe  
Winterbergstraße 28, 01277 Dresden  
Internet: <https://www.ikts.fraunhofer.de>



Exponat

## Oxidkeramische Filtrationsmembranen

Die Membranen haben eine Porengröße von 1 nm (kleine Scheibe) bzw. zwischen 15 und 50 nm (große Scheibe).

**Anwendung:** Filterung bei Abwasserbehandlung, in der Lebensmittelindustrie und Umwelttechnologie. Außerdem erfolgt der Einsatz in der chemischen Technik, der Kfz-Technik und der Mikroreaktionstechnik als Träger von Katalysatoren.

IKTS – Fraunhoferinstitut für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe  
Winterbergstraße 28, 01277 Dresden  
Internet: <https://www.ikts.fraunhofer.de>



Exponat

## LifeStraw

Der „Lebensstrohalm“ LifeStraw filtert Wasser mit Hilfe von winzigen Nanoporen.

**Anwendung:** Der LifeStraw ist ein sehr effektiver Wasserfilter für die Entwicklungsländer oder als Survival-Ausrüstung. Er entfernt Verunreinigungen, Partikel und Mikroorganismen (Parasiten, Bakterien und einige Viren) aus verschmutztem Wasser.

Vestergaard Frandsen  
Chemin de Messidor 5-7, 1006 Lausanne, Schweiz  
<http://www.vestergaard.com>



Exponat



## Metallhydrid – Wasserstoffspeicher

Auch die Wasserstofftechnologie profitiert von der Nanotechnologie. Dieser Wasserstoffspeicher basiert auf nanokristallinen Metallhydriden. In dieser Form kann das Metallhydrid wesentlich mehr Wasserstoff speichern als im Vollmaterial.

**Anwendung:** Überall, wo leistungsfähige Energiespeicher nötig sind: Elektroautos, tragbare Computer etc.

GKSS-Forschungszentrum, Institut für Werkstofforschung  
Max-Planck-Straße 1, 21502 Geesthacht  
Internet: <http://www.gkss.de>

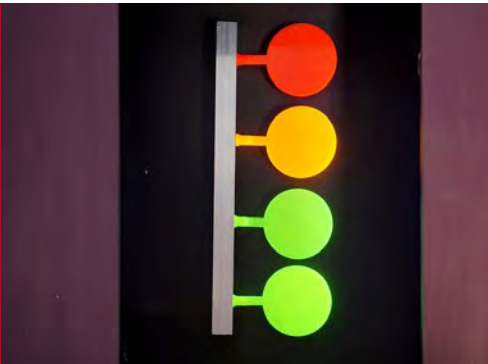


## Ferrofluid

Magnetische Eisenoxid-Nanopartikel mit einer Größe von 5 bis 15 Nanometer in einer Flüssigkeit. Was hier nur interessant aussieht und zum Experimentieren einlädt, findet im Alltag schon vielfach Verwendung.

**Anwendung:** Schwingungsdämpfung in Lautsprechern, luftdichte und flexible Abdichtung von schnell rotierenden Wellen, magnetische Tinte für Tintenstrahldrucker, Minimalmengenschmierung durch magnetisch fixierte Schmierstoffe, magnetische Trennung nichtmagnetischer Materialien

Universität Hamburg, Institut für Physikalische Chemie  
Arbeitsgruppe Prof. Dr. H. Weller, Grindelallee 117, 20146 Hamburg  
Internet: <http://www.chemie.uni-hamburg.de/pc>



## Nano-LEDs (Quanten Dots)

Die Farbe der Nano-LEDs wird nicht von deren Chemie, sondern allein von ihrer Größe bestimmt. Das Prinzip ist hier an Kunststoffproben mit Nanoteilchen gezeigt, die im UV-C-Licht in unterschiedlichen Farben leuchten.

**Anwendung:** Energieeffiziente Hintergrundbeleuchtung bei aktuellen Fernsehern mit QLED-Technik, Fälschungsschutz, zukünftig großflächige Lichtquellen oder extrem hochauflösende flexible Displays mit geringem Stromverbrauch

Center for Applied Nanotechnology  
CAN GmbH, Grindelallee 117, 20146 Hamburg  
Internet: <http://www.can-hamburg.de>



## Mikrobauteile aus keramischer Spritzgusstechnik

Die Bauteile bestehen aus Nanokeramik. Diese Keramik wird aus Pulver hergestellt, das eine Teilchengröße von wenigen Nanometern hat.

**Anwendung:** Mikropumpengehäuse und -rotoren, Zahnräder für Mikrogetriebe, Mikrodurchflussmesser, Mikroreaktoren, mikrooptische Bauteile. Die Vorteile sind: einfaches Spritzgussverfahren, hohe Abformgenauigkeit, hohe Oberflächengüte, geeignet zur Massenfertigung, kostengünstige Herstellung.

INM - Institut für Neue Materialien gem. GmbH  
Im Stadtwald - Campus D2 2, 66123 Saarbrücken  
Internet: <http://www.inm-gmbh.de>

## Nanotechnologie & dünne Schichten

Sowohl in der Elektronik als auch bei optischen Anwendungen besteht die Kunst der Nanotechnologie oft darin, sehr dünne Schichten zu erzeugen. Die Herstellung von Schichten, die in einigen Fällen nur noch wenige Atome dick sind, gelingt heute mit einer fast unvorstellbaren Präzision. Beispiele dafür sind Leseköpfe von modernen Festplatten oder Winkelsensorsysteme für die Einspritzelektronik im Automobilbau, die sehr dünne magnetische Schichten enthalten.

### Funktionelle Beschichtungen mit Nanopartikeln

Oberflächenbeschichtungen mit Nanopartikeln können die unterschiedlichsten Funktionen erfüllen: Korrosionsschutz, Abweisen von Bakterien, Wasser und Schmutz, Schutz vor UV-Strahlung, besondere chemische Eigenschaften und einiges mehr. In der Regel sind die Beschichtungen sogar unsichtbar, da Nanopartikel viel zu klein für sichtbares Licht sind. Für die gewünschte Eigenschaft der Oberfläche kann sowohl die Oberflächenchemie als auch die Strukturierung der Oberfläche im Nanometerbereich eine Rolle spielen.

### Selbstorganisation

Selbstorganisation bezeichnet den natürlich ablaufenden Prozess, bei dem Moleküle und Atome von selbst zu winzigen Strukturen zusammenfinden können, ohne dass von außen in das System eingegriffen werden muss. Auf das Prinzip der Selbstorganisation trifft man überall in der Natur und dadurch stellen die Selbstorganisationsprozesse ein wichtiges Feld der Nanotechnologieforschung dar.



Die Visionen der Nanotechnologieforschung gehen über eine bloße Verkleinerung von Strukturen weit hinaus: Winzige Transistoren und elektrische Leiter könnten z. B. mit Biomolekülen markiert werden, so dass sie in einer Lösung nach dem Schlüssel-Schloss-Mechanismus zueinander finden und von selbst wachsende elektrische Schaltkreise und Computer-Chips bilden könnten.

### Röntgenspiegel

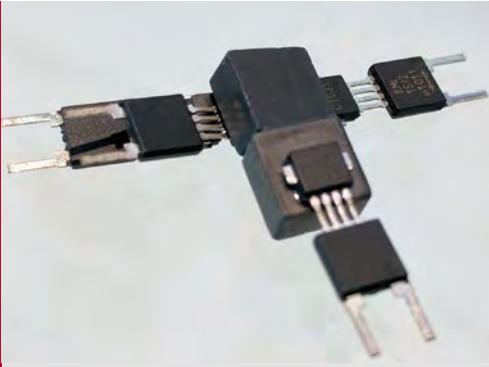
Der Röntgenspiegel besteht aus nur wenigen Nanometer dünnen Schichten. Diese Schichten bestehen in wechselnder Folge aus Wolfram und Silizium. Die Schichtdicken sind bis auf einzelne Atomdurchmesser genau definiert.

**Anwendung:** Analyse diverser Materialeigenschaften



Exponat

Incoatec GmbH  
 Max-Planck-Straße 2, 21502 Geesthacht  
 Internet: <http://www.incoatec.de>

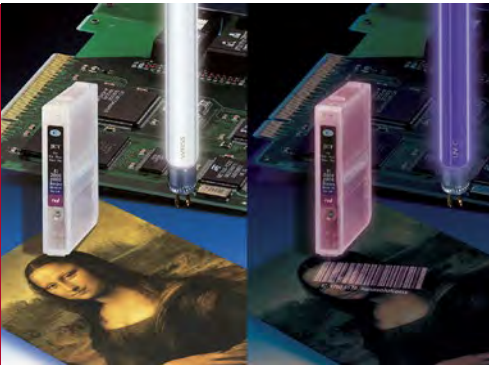


## Winkelsensorsysteme

Winkelsensorsysteme steuern die Einspritzelektronik und Ventile von Kraftfahrzeugen und senken dadurch den Benzinverbrauch. In den Winkelsensoren werden magnetische Schichten von wenigen Nanometern Dicke verwendet.

**Anwendung:** Steuerung der Einspritzelektronik und der Ventile für einen geringeren Benzinverbrauch.

NXP Semiconductors ehemals Philips Semiconductors  
Stresemannallee 101, 22529 Hamburg  
Internet: <http://www.nxp.com>



## Nano-Fälschungsschutz

In diesem Fall wird nicht eine ganze Oberfläche beschichtet, sondern eine Fläche mit Nanoteilchen beschrieben. Im Tageslicht und unter UV-B-Strahlung ist diese Beschriftung unsichtbar. Wird sie allerdings mit UV-C-Licht bestrahlt, leuchtet sie.

**Anwendung:** Diese Nano-Tinte kann als unsichtbare Markierung zum Fälschungsschutz oder zur Geldscheinmarkierung verwendet werden.

Nanogate AG  
Zum Schacht 3, 66287 Quierschied-Göttelborn  
Internet: <http://www.nanogate.de>

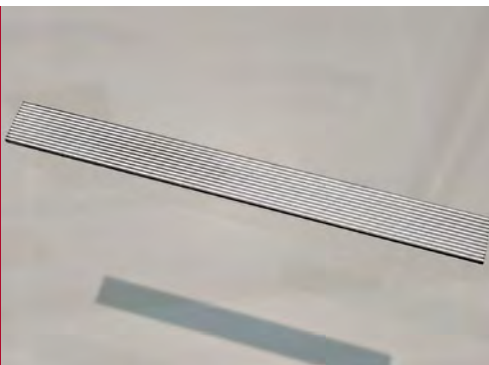


## Plexiglas® mit elektrischer Leitfähigkeit

Diese Plexiglasscheibe ist mit einer Beschichtung versehen, die dünner als ein tausendstel Millimeter ist. Diese elektrisch leitfähige Schicht besteht u. a. aus Nanopartikeln mit einer Größe von 5 bis 50 Nanometern.

**Anwendung:** Antistatische (Vermeidung elektrischer Aufladung) und abschirmende Eigenschaften, Wärmeschutz (IR-Reflexion), Elektroden in elektronischen Systemen (z. B. Displays, Leuchtmittel) und beheizbare Sichtfenster

INM - Institut für Neue Materialien gem. GmbH  
Im Stadtwald - Campus D2 2, 66123 Saarbrücken  
Internet: <http://www.inm-gmbh.de>



## Keramische Katalysatorträgerschicht auf Stahl

Die Beschichtung besteht aus sehr gut haftendem, porösem Aluminiumoxid mit nanoskaligen Pulveranteilen.

**Anwendung:** Autoabgaskatalysatoren, Brennstoffzellentechnik und Reaktionstechnik. Durch die Trägerschicht wird die Wirksamkeit von Katalysatoren wesentlich verstärkt.

INM - Institut für Neue Materialien gem. GmbH  
Im Stadtwald - Campus D2 2, 66123 Saarbrücken  
Internet: <http://www.inm-gmbh.de>

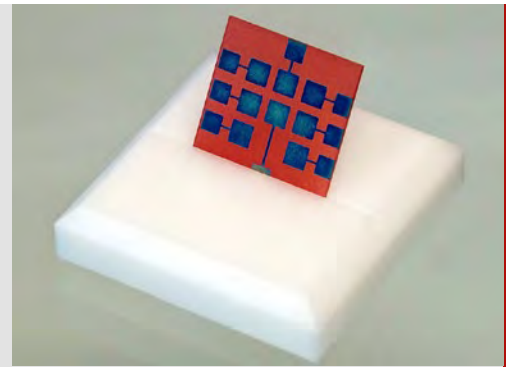


## „Quanten Dot“-Solarzelle

Organisch vernetzte Quanten Dots, die an das Lichtspektrum der Sonne angepasst wurden, werden in Solarzellen als aktive Schichten eingesetzt, um eine hohe Effizienz bei geringen Herstellungskosten zu erzielen.

**Anwendung:** Aufdruckbare „Quanten Dot“-Solarzellen für verschiedenste Oberflächen z. B. für Dachziegel

**Center for Applied Nanotechnology**  
CAN GmbH, Grindelallee 117, 20146 Hamburg  
Internet: <http://www.can-hamburg.de>



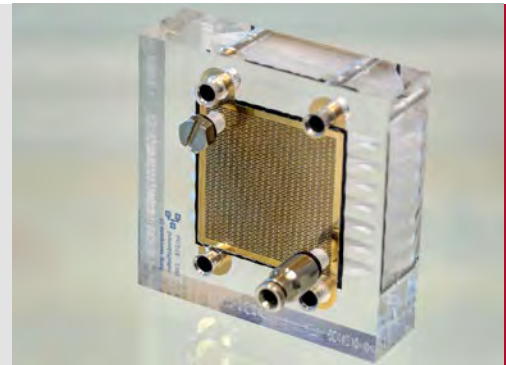
Exponat

## Brennstoffzelle

Die Elektrodenplatten von Brennstoffzellen bestehen inzwischen oft aus Kohlenstoffnanoröhrchen. Außerdem finden nanoskalige Katalysatoren in der Membran von Brennstoffzellen Verwendung.

**Anwendung:** Raumfahrt, Elektro-Busse, tragbare Computer und vieles mehr

**GKSS-Forschungszentrum**  
Max-Planck-Straße 1, 21502 Geesthacht  
Internet: <http://www.gkss.de>



Exponat

## Antireflex-Autoarmaturen mit entspiegeltem Contouran-Glas

Wenige Nanometer dünne Schichten vermindern die Reflexion von Licht. Solche entspiegelten Armaturen sind bereits in einige Serienmodelle der deutschen Automobilindustrie eingebaut.

**Anwendung:** Entspiegelung von Autoarmaturen und anderen Gläsern

**Schott Desag AG, Deutsche Spezialglas**  
Hattenbergstrasse 10, 55122 Mainz  
Internet: <http://www.schott.com>



Exponat

## Kratzfeste Oberflächen

Unsichtbare nanoskalige Keramikpartikel mit einer Größe von unter 20 Nanometern bilden auf einer Oberfläche ein engmaschiges und gegen mechanische Einflüsse resistentes Netzwerk.

**Anwendung:** Kratzfeste Oberflächen und kratzfeste Lacke

**Nanogate AG**  
Zum Schacht 3, 66287 Quierschied-Göttelborn  
Internet: <http://www.nanogate.de>



Exponat



## CERAX-Skiwachs

Nano® FPM Cerax Racing Polymer ist ein fluoriertes Polymer für das Tuning von Skibelägen. Die Besonderheit: Durch Selbstorganisation entstehen hauchdünne Fluorschichten, die durch Kombination mit einem Haftvermittler hervorragend an der Oberfläche der Polyethylen-Beläge haften. Die Beschichtung behält ihre optimalen Eigenschaften auch bei unterschiedlichen Temperaturen.

**Anwendung:** Skiwachs mit besseren Gleiteigenschaften

**Nanogate AG**

Zum Schacht 3, 66287 Quierschied-Göttelborn

Internet: <http://www.nanogate.de>



## NANOSUN – Selbstreinigende Solarzellen

Die Beschichtung aus Nanopartikeln bildet einen wasser-, fett- und schmutzabweisenden Schutzfilm. Dadurch wird Schmutz einfach vom Regenwasser weggespült. Da die Beschichtung völlig transparent ist, wird das Sonnenlicht nicht abgeschwächt.

**Anwendung:** Oberflächenveredelung für Solarzellen, so dass diese nicht mehr verschmutzen und somit eine höhere Leistung erbringen

**Nanogate AG**

Zum Schacht 3, 66287 Quierschied-Göttelborn

Internet: <http://www.nanogate.de>



## Spültischarmatur touch-free

Die matt verchromte Armaturen-Oberfläche ist mit einer unsichtbaren, schmutzabweisenden Schicht versehen. Die Oberflächenspannung wird dadurch auf ein Minimum reduziert, Schmutz und Kalk werden einfach abgestoßen. Außerdem bleiben keine Fingerabdrücke an der Oberfläche haften.

**Anwendung:** Armaturen in Küche und Bad

**Kludi GmbH & Co. KG**

Am Vogelsang 31-33, 58706 Menden

Internet: <http://www.kludi.de>



## Backofen und Backbleche mit PerfectClean

Durch eine Beschichtung mit Nanopartikeln lassen sich Speisereste an Blechen und Wänden dieses Herdes mit wenig Mühe entfernen. Die Beschichtung verhindert das Anhaften von Speisen während des Backens.

**Anwendung:** Backbleche, Einbauherde usw.

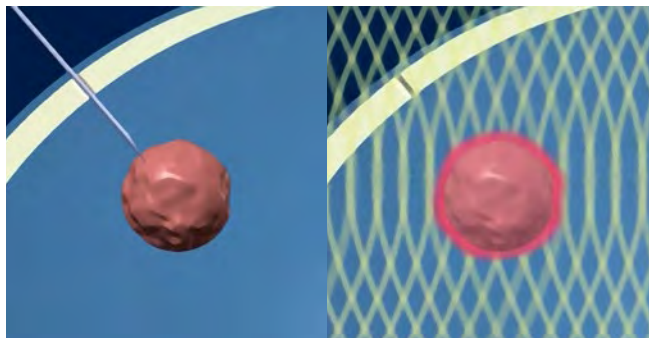
**Miele & Cie. GmbH & Co., Vertriebszentrum Hamburg**

Melkerstieg 20, 21217 Seevetal

Internet: <http://www.miele.de>

# Nanotechnologie in der Medizin

In der Medizin gibt es für die Nanotechnologie ein gigantisches Innovationspotenzial und ein breites Spektrum an Forschungsprojekten und Visionen. Zu den bereits erfolgreichen Anwendungen zählen die Thermotherapie zur Behandlung von einigen Tumoren mit magnetischen Nanopartikeln, antibakterielle Beschichtungen und die Beschichtung von Prothesen, damit diese vom menschlichen Körper besser angenommen werden.



## **Bereits seit vielen Jahren im Einsatz:**

Die **Thermotherapie mit magnetischen Nanopartikeln**: Eisenoxidhaltige Nanopartikel werden zu Therapiebeginn direkt in den Tumor eingebracht. Die magnetischen Nanopartikel sind mit einer organischen Beschichtung „getarnt“ und werden ausschließlich vom Krebsgewebe als Nährstoffe erkannt. Dadurch verteilen sich die magnetischen Nanopartikel nur im Krebsgewebe, aber nicht im gesunden Gewebe. Anschließend wird der Patient in ein für den Menschen ungefährliches Magnetwechselfeld gelegt. Die mit den magnetischen Nanopartikeln beladenen Krebszellen werden durch dieses hochfrequente Magnetfeld in Schwingung versetzt, wodurch Wärme durch Reibung direkt und ausschließlich im Tumorgewebe entsteht. Durch die lokale Erhitzung werden die Tumorzellen nach und nach zerstört oder für eine begleitende Therapie sensibilisiert. Das Besondere an dieser Therapie ist, dass das umliegende gesunde Gewebe nicht beeinträchtigt wird.

## **Noch ein Forschungsprojekt bzw. eine Vision:**

**Gezielter Wirkstofftransport (Drug Targeting and Drug Delivery)**: Ein Wirkstoff wird in Nanopartikel verkapselt und an diese Kapsel wird ein Biomolekül als Antikörper angekoppelt. Der auf diese Weise in Nanopartikel verpackte Wirkstoff ist inaktiv und wird dem Patienten verabreicht. Durch die Blutbahn wird das Nanomedikament zum erkrankten Gewebe transportiert. Dort angekommen kann die Wirkstoffkapsel mit Hilfe des angekoppelten Biomoleküls und des Schlüssel-Schloss-Prinzips an die erkrankten Zellen „andocken“ und den Wirkstoff ausschließlich im erkrankten Gewebe freisetzen. Zukünftige Medikamente wirken also nur noch dort, wo sie wirklich benötigt werden und nicht mehr im ganzen Körper. Ungewollte Nebenwirkungen könnten damit ausgeschlossen werden und viele Operationen wären überflüssig. Viren machen uns zwar vor, dass das Prinzip funktioniert, allerdings ist für den gezielten Wirkstofftransport noch sehr viel Forschungsarbeit notwendig.

## **Eisenoxidsuspension für die Thermotherapie**

Die stabil in der Suspension schwebenden Nanopartikel aus Eisendioxid sind nur wenige Nanometer groß.

**Anwendung:** Eine spezielle Beschichtung bewirkt, dass die Nanopartikel fast ausschließlich von Tumorzellen aufgenommen werden. Durch ein äußeres Magnetfeld können die magnetischen Teilchen zum Schwingen angeregt werden. Der Tumor wird lokal erwärmt und abgetötet.



Exponat

MagForce AG  
 Max-Planck-Straße 3 12489 Berlin  
 Internet: <http://www.magforce.de>



## Zellkulturflasche

Durch eine Beschichtung mit Nanopartikeln kann die Oberfläche der Zellkulturflasche so behandelt werden, dass ein verbessertes oder reduziertes Anwachsen von Zellen möglich ist.

**Anwendung:** Medizinische und biologische Untersuchungen an Zell- und Gewebekulturen.

nanomedX GmbH

Internet: <http://www.nanomedx.de>



## Schwangerschaftstest

Ein an Gold-Nanopartikel gekoppelter Antikörper erkennt das Hormon, mit dem sich eine beginnende Schwangerschaft nachweisen lässt. Ist dieses Hormon im Urin vorhanden, reichern sich die Gold-Nanopartikel im Sichtfenster an und erzeugen einen roten Streifen.

**Anwendung:** In vielen Schwangerschaftstests werden Gold-Nanopartikel zur Anzeige des Testergebnisses benutzt.

Verschiedene Hersteller



## Antibakteriell beschichtete WC-Spülung

Antibakterielle Oberflächenbeschichtung auf Basis von Silber-Nanopartikeln.

**Anwendung:** Türgriffe, Rolltreppen, Sanitärbereich, Klimaanlage, Konservierung, medizinische Geräte, Operationstische, Fliesen, Lebensmittelbereich

ItN Nanovation AG

Peter-Zimmer-Straße 11, 66123 Saarbrücken

Internet: <http://www.itn-nanovation.com>



## Verweilkatheter

Durch eine Beschichtung mit Nanopartikeln ist die Oberfläche antimikrobiell wirksam und hat verbesserte Gleiteigenschaften.

**Anwendung:** Katheter, der über einen längeren Zeitraum in der Blase verbleibt

sarastro GmbH

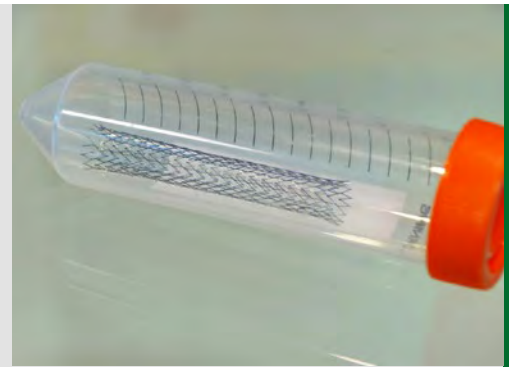
Zum Schacht 7, 66287 Göttelborn

## Endovaskularprothese (Stent)

Durch eine Beschichtung mit Nanopartikeln können ein verbesserter Bio-korrosionsschutz und eine höhere Biokompatibilität (verbessertes Ein-wachsverhalten) erreicht werden.

**Anwendung:** Medizinisches Implantat zum Offenhalten von Gefäßen oder Hohlorganen

sarastro GmbH  
Zum Schacht 7, 66287 Göttelborn



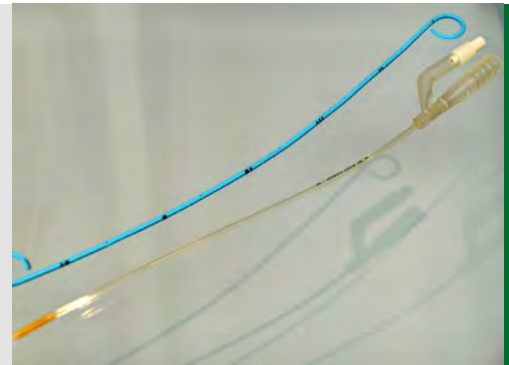
Exponat

## Uretersplint & urologischer Ballonkatheter

Der Uretersplint ist eine Nierenbeckenenddrainage, die den Rückfluss von Urin aus der Blase in das Nierenbecken verhindert. Der Ballonkatheter dient der Harnableitung oder Harngewinnung.

**Anwendung:** Durch eine Beschichtung mit Nanopartikeln ist die Oberfläche antimikrobiell wirksam, kann nicht verkrusten und hat verbesserte Gleiteigenschaften.

nanomedX GmbH  
Internet: <http://www.nanomedx.de>



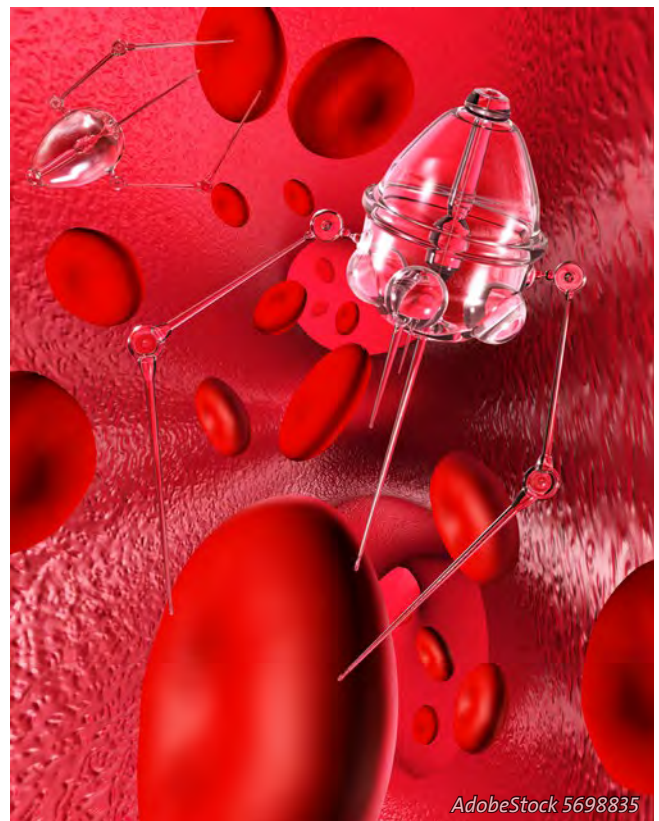
Exponat

## Visionen der Nanomedizin

Von der Nanomedizin erhofft man sich die größten und umfassendsten Innovationen. Allerdings klingt vieles davon zurzeit noch wie der Stoff für spannende Science-Fiction-Romane.

Hier eine kleine Auswahl der Visionen:

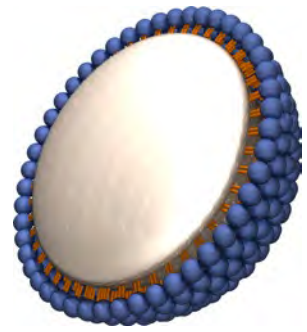
- die Volkskrankheit „Krebs“ wird besiegt
- Blinde können wieder sehen
- „Biokompatibilität“: Nervenzellen werden mit Computerschaltkreisen gekoppelt
- verbesserte Implantate und Neuroimplantate, die defekte Nervenbahnen ersetzen können
- eigene „Ersatz-Organ“ aus Körperzellen wachsen lassen
- künstliches und hocheffizientes Blut aus Nano-partikeln
- Kontrolle der Lebenserwartung
- Nanomaschinen, sogenannte „Nanobots“ (siehe Bild rechts), die im menschlichen Körper patrouillieren und eventuelle Schäden sofort selbst reparieren



AdobeStock 5698835

# Nanotechnologie in der Kosmetik

Produkte wie Sonnencremes und Deodorants werden in der Regel nicht mit Nanotechnologie assoziiert. Aber auch hier können Produkteigenschaften durch Teilchen oder Tröpfchen optimiert werden, die nur wenige Nanometer groß sind. Oft werden Nanomaterialien eingesetzt, da sie auf der Haut verteilt unsichtbar bzw. transparent sind, wie z. B. bei einem Nano-Wirkstoffdepot (*Bild rechts*). Auf der anderen Seite kann man mit möglichst kleinen Partikeln eine Oberfläche viel besser und vollständiger abdecken als mit größeren Partikeln. Dadurch sind Kosmetikprodukte heute einfacher aufzutragen und viel länger wirksam als in früheren Zeiten, wie z. B. die tiefschwarze Farbe eines Kajaltifts (*siehe Seite 19*).



Exponat



## Sonnenschutzlotion

Nanopartikel aus Titandioxid ( $\text{TiO}_2$ ) können zum Schutz vor UV-Strahlung eingesetzt werden. Sie verteilen sich besonders gut und gleichmäßig auf der Haut, absorbieren das UV-Licht und sind auf der Haut praktisch unsichtbar. Außerdem ist Sonnencreme mit Titandioxid für manche Allergiker besser auf der Haut verträglich, weil es sich um einen anorganischen Wirkstoff handelt.

**Anwendung:** Sonnenschutzlotion mit Titandioxid-Nanopartikeln

Beiersdorf AG  
Unnastraße 48, 20245 Hamburg  
Internet: <http://www.beiersdorf.de>

Exponat



## Transparente Deodorants

Die Wirkstoffe des Deodorants werden in Nano-Öltröpfchen eingeschlossen. Das hat viele Vorteile: Die Tröpfchen sind unsichtbar, das Deo ist daher transparent, die Wirkstoffe können leicht in die Haut eindringen und sind auch für empfindliche Haut gut verträglich. Zudem benötigt das Deo weder Alkohol, noch Konservierungsstoffe oder andere organische flüchtige Zusatzstoffe.

**Anwendung:** Transparente Deodorants

Beiersdorf AG  
Unnastraße 48, 20245 Hamburg  
Internet: <http://www.beiersdorf.de>

Exponat



## Hautpflege mit Nanoemulsionen

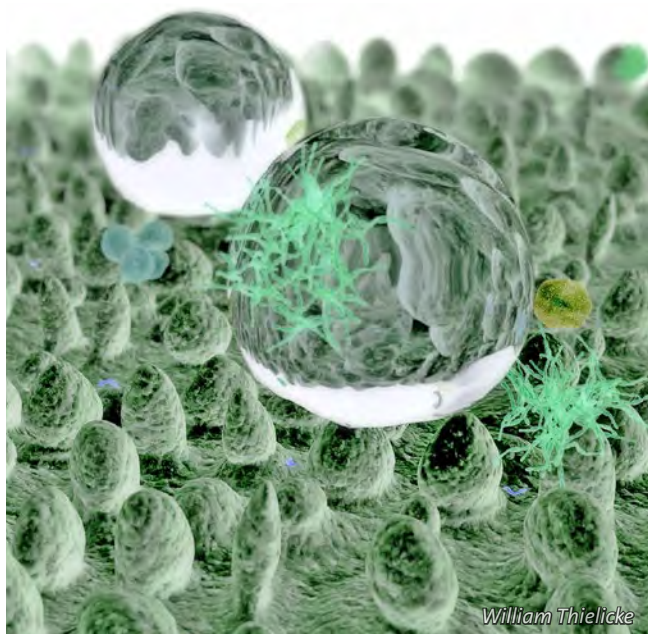
Die Kapseln haben einen Durchmesser von 100 nm bis 200 nm. Das Kapselmateriale ist ein Bestandteil der Zellmembranen aller lebenden Organismen und ist nicht nur „Verpackung“, sondern auch selbst ein Wirkstoff. Der Kern besteht aus einem Ölkörper mit öllöslichen Wirkstoffen, wie z. B. Vitamine und Provitamine.

**Anwendung:** Lange wirksame Hautpflege

Kosmetik Konzept KOKO GmbH & Co. KG  
Moltkestraße 25, 42799 Leichlingen  
Internet: <http://www.dermaviduals.de>

## Der Lotus-Effekt®

Eine der häufigsten Anwendungen der Nanotechnologie sind Produkte mit einer schmutz- und wasserabstoßenden Oberfläche. Diese Anwendung ist vor allem durch den sogenannten „Lotus-Effekt“® bekannt geworden. Aber es gibt inzwischen viele verschiedene, auf unterschiedliche Anwendungen optimierte Versionen von „easy-to-clean“-Oberflächenbeschichtungen.



Der Lotoseffekt, oft auch Lotus-Effekt®, ist eine Bezeichnung für den **Selbstreinigungseffekt bei einigen Pflanzen, Vögeln und Insekten**.

Der Effekt ist zwar nach der Lotos-Pflanze benannt, kommt aber auch bei vielen einheimischen Pflanzen vor. Allerdings klingen „Kohlrabi-Effekt“ oder „Kapuzinerkresse-Effekt“ weniger gut und würden sich bestimmt auch schlechter vermarkten lassen.

Der Lotoseffekt basiert auf einer **stark wasserabstoßenden Oberfläche** in Kombination mit einer **Nanostruktur aus winzigen Wachskristallen**. Die noppenartigen Erhebungen oder auch Stacheln der Nanostruktur sorgen dafür, dass Schmutzpartikel nicht fest anhaften können und nur locker gebunden auf der Oberfläche liegen. Bei Regen rollen die Wassertropfen über die stark wasserabstoßende Oberfläche und reißen die locker gebundenen Schmutzpartikel dabei einfach mit.

### Lotus-Effekt® auf Holz

Auf der Oberfläche dieses Baumstammes wurden Nanostrukturen erzeugt. Diese Nanobeschichtung bewirkt den „Lotus-Effekt“, das heißt, dass Wasser von der Oberfläche des Baumstammes abperlt und dabei jegliche Schmutzpartikel wegschwemmt.



Exponat

nanodeck®  
Falkengrund 15, 25462 Rellingen  
Internet: <http://www.nanodeck.de>

### Lotus-Effekt® auf Wildleder

Durch die aufgetragenen Nanopartikel, die sich selbst zu der gewünschten „Lotus-Effekt“-Struktur organisieren, wird die Oberfläche des Leders wasser- und schmutzabweisend und so können Verschmutzungen ganz leicht mit Wasser abgewaschen werden.



Exponat

nanodeck®  
Falkengrund 15, 25462 Rellingen  
Internet: <http://www.nanodeck.de>

Exponat



## Lotus-Effekt® auf einer Textilie

Die aufgetragenen Nanopartikel haben sich zu einer wasser- und schmutzabweisenden Schicht strukturiert, die den „Lotus-Effekt“ bewirkt, so dass selbst verschiedenste Flüssigkeiten wie Tinte und Rotwein von der Oberfläche abgewiesen werden. Die dabei entstehenden Tropfen schwimmen alle Schmutzpartikel weg, daher ist dieser imprägnierte Stoff sehr leicht zu reinigen.

**nanodeck®**

Falkengrund 15, 25462 Rellingen  
Internet: <http://www.nanodeck.de>

Exponat



## Lotus-Effekt® auf Gasbeton

Die Nanobeschichtung auf dem Gasbeton bzw. Porenbeton bewirkt, dass Wasser auf der Oberfläche abperlt und dabei jegliche Schmutzpartikel entfernt. Durch den erzielten „Lotus-Effekt“ kann zum Beispiel die Bildung von Algen und Moosen auf dem Beton verhindert werden, da das Wasser nicht in die Steine einziehen kann und Pflanzen darauf nicht anwachsen können.

**nanodeck®**

Falkengrund 15, 25462 Rellingen  
Internet: <http://www.nanodeck.de>

Exponat



## Lotus-Effekt®-Set: WONDERGLISS®

Eine flüssige Oberflächen-Versiegelung für Keramik, Fliesen und Glas. Wassertropfen perlen ab und schwimmen Schmutz und andere Partikel einfach weg. Kalk und Schmutz können sich nicht mehr halten. So bleibt das Bad ohne großen Aufwand für längere Zeit sauber.

**Nanogate AG**

Zum Schacht 3, 66287 Quierschied-Göttelborn  
Internet: <http://www.nanogate.de>

Exponat



## Lotus-Effekt®-Set: NANOSUN für Solarzellen

Die Beschichtung aus Nanopartikeln bildet einen wasser- und schmutzabweisenden Schutzfilm. Dadurch wird Schmutz einfach vom Regenwasser weggespült. Da die Beschichtung völlig transparent ist, wird das Sonnenlicht nicht abgeschwächt.

**Nanogate AG**

Zum Schacht 3, 66287 Quierschied-Göttelborn  
Internet: <http://www.nanogate.de>



# Exponat- & Ausstellerliste

## **Beiersdorf AG**

Unnastraße 48, 20245 Hamburg

*Exponat „Sonnenschutzlotion“ – Seite 28*

*Exponat „Deodorant“ – Seite 28*

## **Center for Applied Nanotechnology - CAN GmbH**

Grindelallee 117, 20146 Hamburg

*Exponat „Nano-LEDs“*

*Seite 20*

*Exponat „Quanten Dot Solarzelle“*

*Seite 23*

## **Control Data Corporation – Magnetic Peripherals Inc**

*Exponat „Magnetischer Datenspeicher“*

*Seite 17*

## **GKSS-Forschungszentrum, Inst. für Werkstofforschung**

Max-Planck-Straße, 21502 Geesthacht

*Exponat „Metallhydrid-Wasserstoffspeicher“*

*Seite 20*

*Exponat „Brennstoffzelle“*

*Seite 23*

## **IKTS Fraunhoferinstitut für Keramische Technologien und Sinterwerkstoffe**

Winterbergstraße 28, 01277 Dresden

*Exponat „Wendeschneidplatten-Rohlinge“*

*Seite 19*

*Exponat „Oxidkeramische Filtrationsmembranen“*

*Seite 19*

## **Incoatec GmbH**

Max-Planck-Straße 2, 21502 Geesthacht

*Exponat „Röntgenspiegel“ – Seite 21*

## **INM - Institut für Neue Materialien**

Im Stadtwald - Campus D2 2, 66123 Saarbrücken

*Exponat „Mikrobauteile aus keramischer Spritzgusstechnik“ – Seite 20*

*Exponat „Plexiglas mit elektrischer Leitfähigkeit“*

*Seite 22*

*Exponat „Keramische Katalysatorträgerschicht auf Stahl“ – Seite 22*

## **Intel Corporation**

2200 Mission College Blvd. Santa Clara,  
CA 95054-1549, USA

*Exponat „Verschiedene Intel Pentium-CPUs“*

*Seite 15*

## **ItN Nanovation AG**

Peter-Zimmer-Straße 11, 66123 Saarbrücken

*Exponat „Titandioxid-Nanopartikel – der Rohstoff“*

*Seite 18*

*Exponat „Antibakteriell beschichtete WC-Spühlung“*

*Seite 26*

## **Kludi GmbH & Co. KG**

Am Vogelsang 31-33, 58706 Menden

*Exponat „Spültischarmatur touch-free“*

*Seite 24*

## **Kosmetik Konzept KOKO GmbH & Co.KG**

Moltkestraße 25, 42799 Leichlingen

*Exponat „Hautpflege mit Nanoemulsionen“*

*Seite 28*

## **MagForce AG**

Max-Planck-Straße 3, 12489 Berlin

*Exponat „Eisenoxidsuspension“*

*Seite 25*

## **Miele & Cie. GmbH & Co., Vertriebszentrum Hamburg**

Melkerstieg 20, 21217 Seevetal

*Exponat „Miele Einbauherd und Backbleche mit PerfectClean-Beschichtung“*

*Seite 24*

## **nanodeck®**

Falkengrund 15, 25462 Rellingen

*Verschiedene Exponate mit Lotus-Effekt®*

*Seiten 29–30*

## **Nanogate AG**

Zum Schacht 3, 66287 Quierschied-Göttelborn

*Exponat „Nanoskaliges Gold“ – Seite 18*

*Exponat „Nano-Fälschungsschutz“ – Seite 22*

*Exponat „Kratzfeste Oberflächen“ – Seite 23*

*Exponat „CERAX-Skiwachs“ – Seite 24*

*Exponat „Selbstreinigende Solarzellen“  
Seite 24*

*Exponat „Lotus-Effekt®-Set: WONDERGLISS®“  
Seite 30*

*Exponat „Lotus-Effekt®-Set: NANOSUN“  
Seite 30*

## **NANOSENSORS**

Rue Jaquet-Droz 1, 2007 Neuchatel, Schweiz

*Exponat „Sonden- bzw. Federbalken-Wafer“  
Seite 14*

*Exponat „Einzelne Sonden eines Rasterkraftmikro-  
skops“ – Seite 14*

## **Nanosurf AG, Instruments for Nanoscience**

Grammetstraße 14, CH-4410 Liestal, Schweiz

*Exponat „Portables Rasterkraftmikroskop“  
Seite 13*

## **Nano-X GmbH**

Theodor-Heuss-Str. 11a, 66130 Saarbrücken

*Exponat „Zellkulturflasche“ – Seite 26*

*Exponat „Uretersplint“ – Seite 27*

*Exponat „Urologischer Ballonkatheter“  
Seite 27*

## **NXP Semiconductors**

Stresemannallee 101, 22529 Hamburg

*Exponat „Winkelsensorsysteme“ – Seite 22*

## **sarastro GmbH**

Zum Schacht 7, 66287 Göttelborn

*Exponat „Verweilkatheter“ – Seite 26*

*Exponat „Endovaskularprothese (Stent)“ – Seite 27*

## **Schott Desag AG, Deutsche Spezialglas**

Hattenbergstrasse 10, 55122 Mainz

*Exponat „Antireflex-Autoarmaturen“  
Seite 23*

## **Universität Hamburg,**

### **Institut für Physikalische Chemie**

Arbeitsgruppe Prof. Dr. H. Weller,  
Bundesstraße 45, 20146 Hamburg,

*Exponat „Ferrofluid“  
Seite 20*

*Exponat „Nano-LEDs“  
Seite 20*

## **Universität Hamburg,**

### **Fachbereich Physik**

Arbeitsgruppe Prof. Dr. R. Wiesendanger  
Jungiusstraße 11, 20355 Hamburg

*Exponat „Blauer Morphofalter“  
Seite 7*

*Exponat „Gecko“  
Seite 7*

*Exponat „Rastertunnelmikroskop“  
Seite 12*

*Exponat „Rasterkraftmikroskop“  
Seite 13*

*Exponat „Nano-Spintronik-Logikbauteil-Modell“  
Seite 15*

*Exponat „Verschiedene Computer-Festplatten“  
Seite 17*

*Exponat „High-Speed-Datenträger von morgen“  
Seite 17*

*Exponat „Flash-Speicherkarten“  
Seite 17*

*Exponat „Kajalstift mit Carbon Black“  
Seite 19*

*Exponat „Schwangerschaftstest“  
Seite 26*

*Verschiedene Videos auf der Webseite und in der  
Ausstellung*

## **Vestergaard Frandsen**

Chemin de Messidor 5 - 7, CH - 1006 Lausanne,  
Schweiz

*Exponat „LifeStraw“  
Seite 19*

## **Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Physikalisches Institut**

Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster

*Exponat „Schüler-Rastertunnelmikroskop“  
Seite 12*

# Anreise zur Ausstellung



Für die Anreise nutzen Sie am besten die öffentlichen Verkehrsmittel des HVV, da die Parkplatz-Situation in Hamburg gerade während einer Messe sehr angespannt ist.

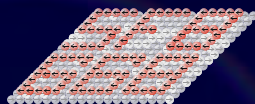
- **U-Bahn U1:** Bis Haltestelle „Stephansplatz“ fahren und dann ca. 7 Minuten dem rot eingezeichneten Weg um den Park „Planten un Blomen“ herum folgen
- **U-Bahn U2:** Bis Haltestelle „Messehallen“ fahren und dann „Bei den Kirchhöfen“ dem blau eingezeichneten Weg in Richtung CCH für ca. 5 Minuten folgen
- **S-Bahn:** Bis „Dammtor-Bahnhof“ fahren und dann über die Fußgängerbrücke ca. 7 Minuten dem rot eingezeichneten Weg um den Park „Planten un Blomen“ herum folgen
- **Bus:** Bis Haltestelle „Stephansplatz“ fahren und dann ca. 7 Minuten dem rot eingezeichneten Weg um den Park „Planten un Blomen“ herum folgen



Treffpunkt für die Ausstellungsführungen ist immer der gut sichtbare Ausstellungspavillon.



Der Ausstellungspavillon ist von der Jungiusstraße aus gut zu sehen und leicht zu finden.



## Impressum

Wenn Sie mehr Informationen wünschen,  
wenden Sie sich bitte an:

Sonderforschungsbereich 668  
ERC Advanced Grant „ASTONISH“

Universität Hamburg  
Jungiusstraße 9-11  
20355 Hamburg

### Leitung:

Prof. Dr. Roland Wiesendanger  
wiesendanger@physnet.uni-hamburg.de

### Öffentlichkeitsarbeit:

Dipl.-Chem. Heiko Fuchs  
hfuchs@physnet.uni-hamburg.de  
Telefon: 040 - 4 28 38 - 69 59

### Internet:

<http://nanotechnologie-ausstellung.de>  
<http://www.sfb668.de>  
<http://www.nanoscience.de/astonish>  
<http://www.nanoscience.de>

### Konzeption und Gestaltung:

Heiko Fuchs

