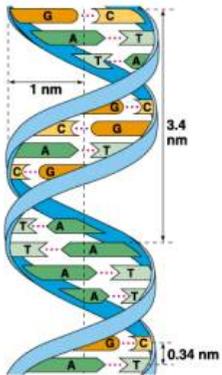


# Bionanotechnologie aus der Natur –

## Intelligente Materialien, Nanoroboter und vieles mehr!



(a)  
©1999 Addison Wesley Longman, Inc.



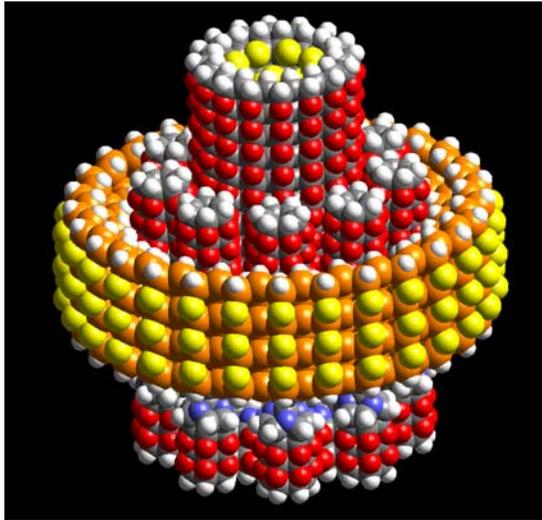
Austrian Center of Competence for Tribology  
Österreichisches Kompetenzzentrum für Tribologie



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

VIENNA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY

# Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ille C. Gebeshuber



Institut für Allgemeine Physik,  
Technische Universität Wien  
&  
Österreichisches Kompetenzzentrum für  
Tribologie, AC<sup>2</sup>T

Email: [ille@iap.tuwien.ac.at](mailto:ille@iap.tuwien.ac.at)  
WWW: [www.ille.com](http://www.ille.com)  
Tel. 01/58801-13436



Austrian Center of Competence for Tribology  
Österreichisches Kompetenzzentrum für Tribologie



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
VIENNA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY



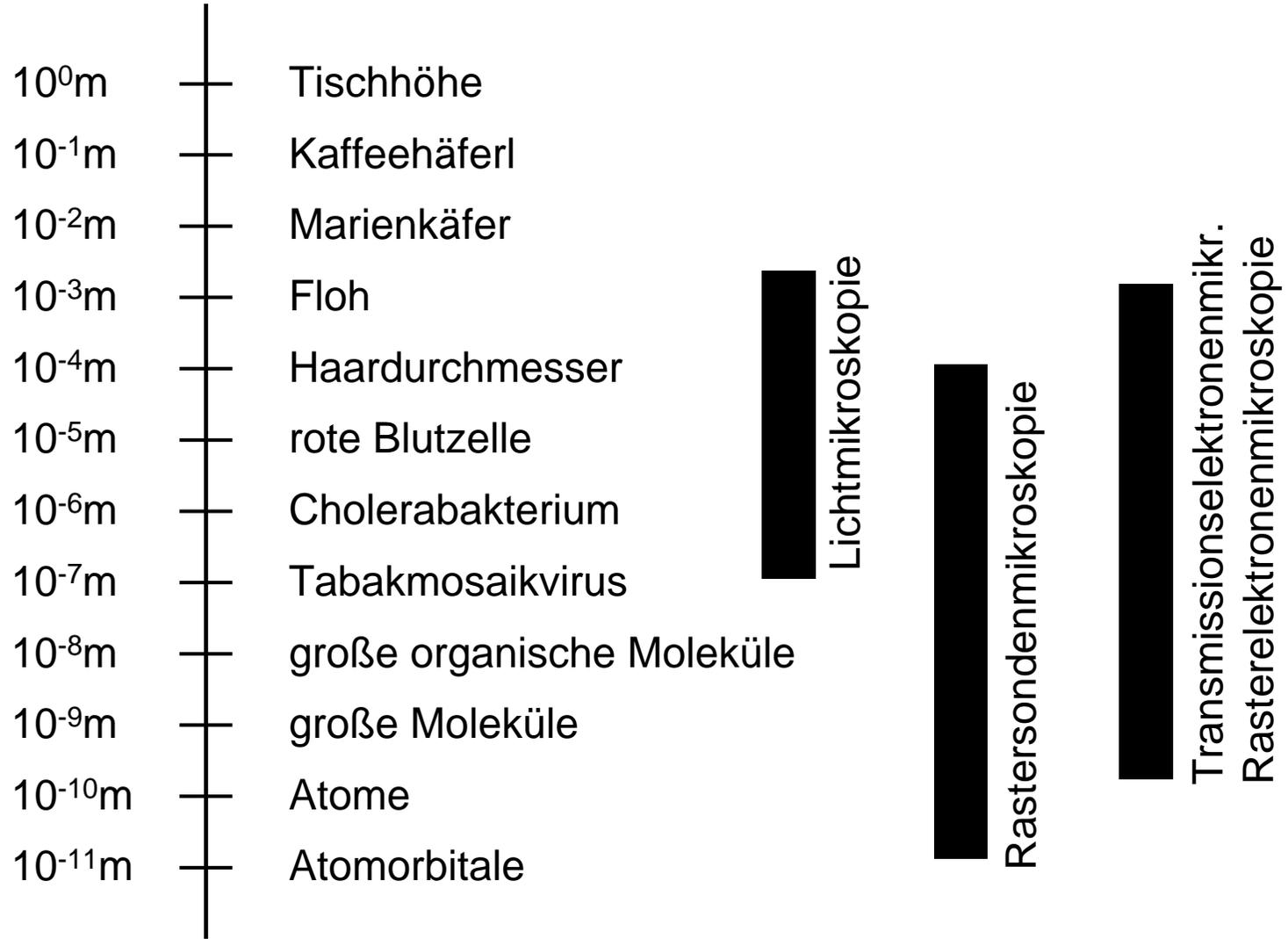
© W. Oschmann

Ob **kleine Glasboxen**, von denen dreissig nebeneinander die Breite eines Haares ergeben, oder Maschinen, so klein, dass nur die besten Mikroskope der Welt sie beobachten können - die Natur zeigt uns, wie es geht.

Und wenn wir genau hinsehen, können auch wir bald **Nanoroboter** konstruieren, die Krebszellen bekämpfen oder Kleidung, die Behinderten hilft, Stiegen zu steigen.

# Von Mega zu Nano

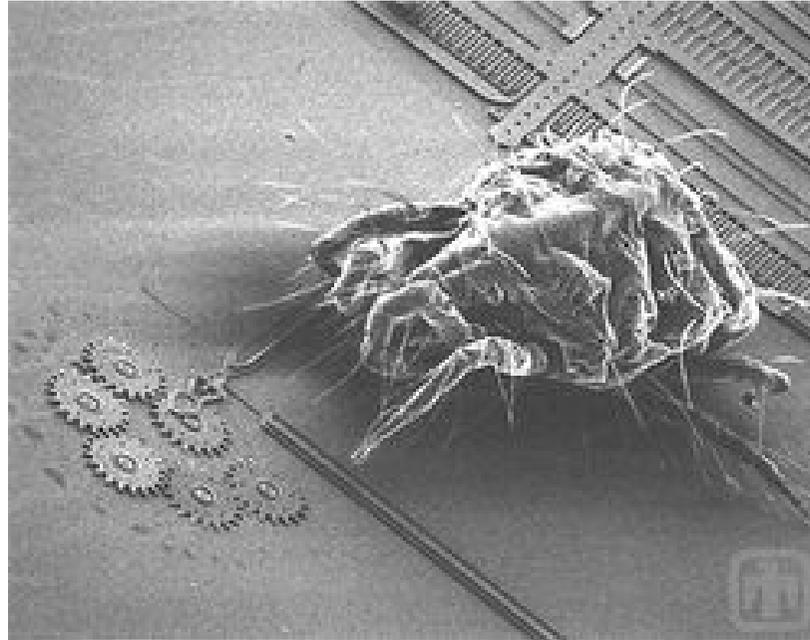
- 1 Megameter = 1000 Kilometer =  $10^6$  m
- 1 Kilometer = 1000 Meter =  $10^3$  m
- 1 Meter = 1000 Millimeter = 1 m
- 1 Millimeter = 1000 Mikrometer =  $10^{-3}$  m
- 1 Mikrometer = 1000 Nanometer =  $10^{-6}$  m
- 1 Nanometer = 0,000 000 001 Meter =  $10^{-9}$  m
  
- 1 000 000 000 Nanometer = 1 Meter
- Durchmesser eines Haares = 100 Mikrometer
- Durchmesser eines Haares = 100 000 Nanometer



# Was erwartet uns bei diesem Vortrag?

- Was ist Nanotechnologie?
- Informationsfilm der EU über Nanotechnologie (28 Minuten)
- Bionanotechnologie
- Nanoroboter
- Der Klettverschluss
- Biomimetik
- DNA
- Cyborgs
- Biologische Zellen als Nanofabriken
- Biomoleküle als Nanomaschinen

# Nanotechnologie



Eine Milbe neben mehreren Zahnrädern, welche mittels Mikrosystemtechnik produziert wurden.

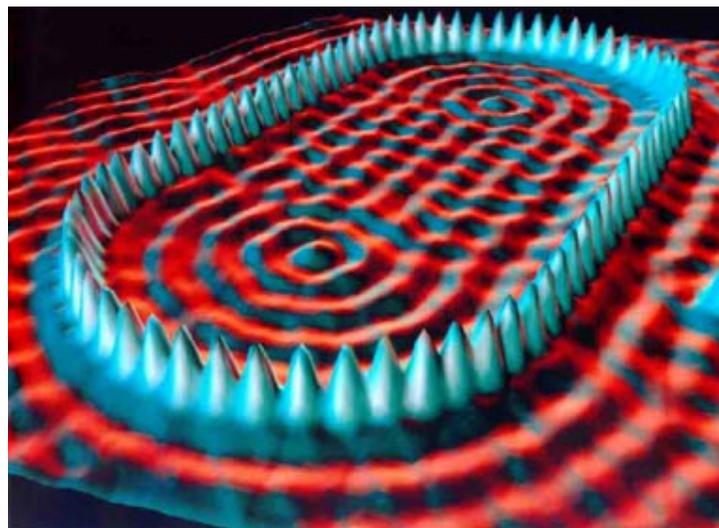
© Sandia National Laboratories, SUMMiTTM  
Technologies, [www.mems.sandia.gov](http://www.mems.sandia.gov)

# Nanotechnologie

**Nanotechnologie** (griech. *nānnos* = Zwerg) ist ein Sammelbegriff für eine breite Auswahl von Technologien, die sich der Erforschung, Bearbeitung und Produktion von Gegenständen und Strukturen widmen, die kleiner als 100 Nanometer (nm) sind.

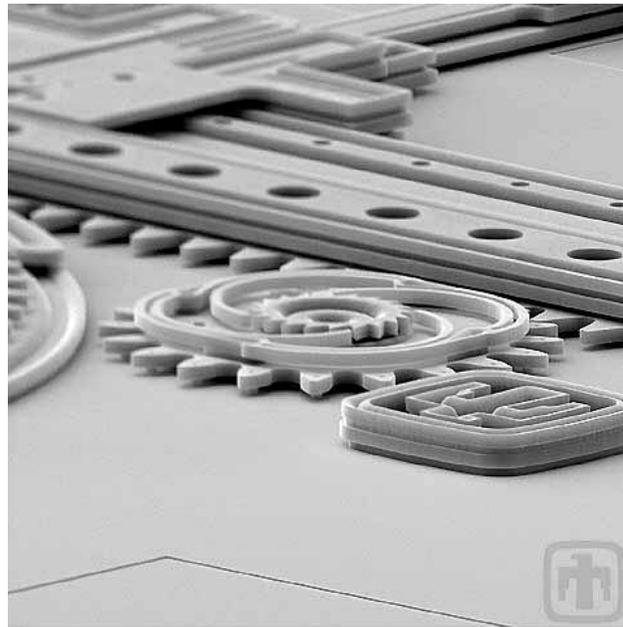
# Nanotechnologie

Ein Nanometer ist ein Milliardenstel Meter ( $10^{-9}$  m) und bezeichnet einen Grenzbereich, in dem die **Oberflächeneigenschaften** gegenüber den Volumeneigenschaften der Materialien eine immer größere Rolle spielen und zunehmend **quantenphysikalische Effekte** berücksichtigt werden müssen.



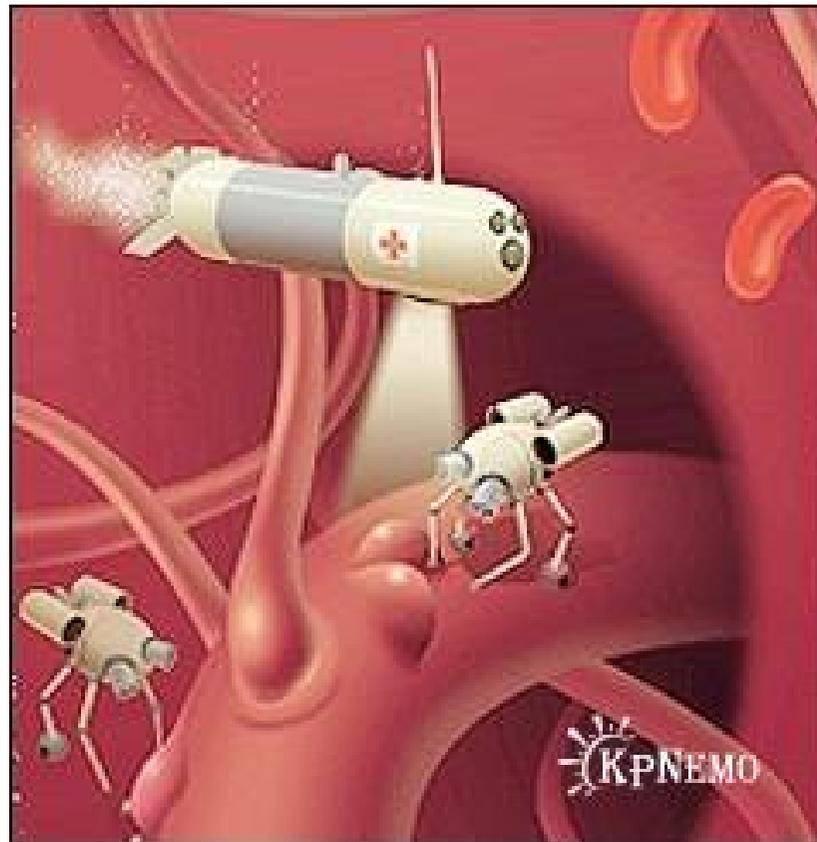
# Nanotechnologie

Es gibt auch einen Zweig der Nanotechnologie, der als **Fortsetzung und Erweiterung der Mikrotechnik** angesehen werden kann, doch erfordert eine weitere Verkleinerung von Mikrometerstrukturen meist völlig unkonventionelle neue Ansätze.



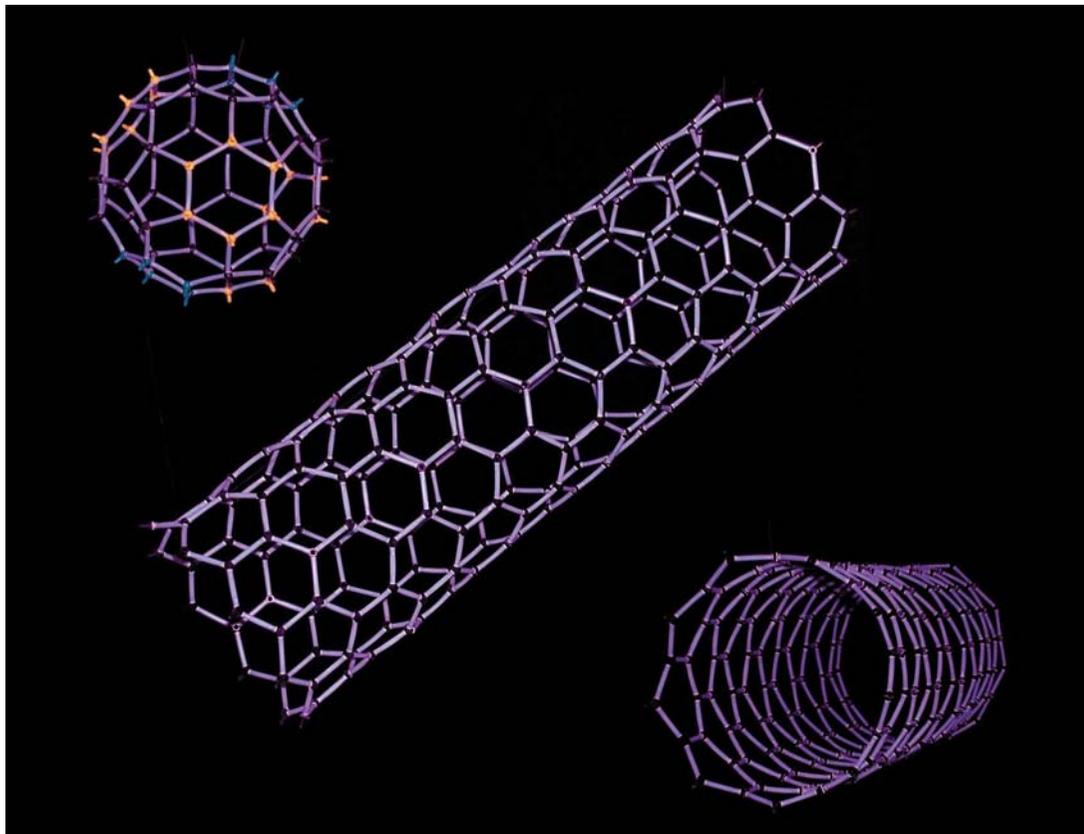
# Nanotechnologie

Nur ein kleiner Zweig der Nanotechnologie beschäftigt sich mit **Nanomaschinen** oder **Nanobots**.



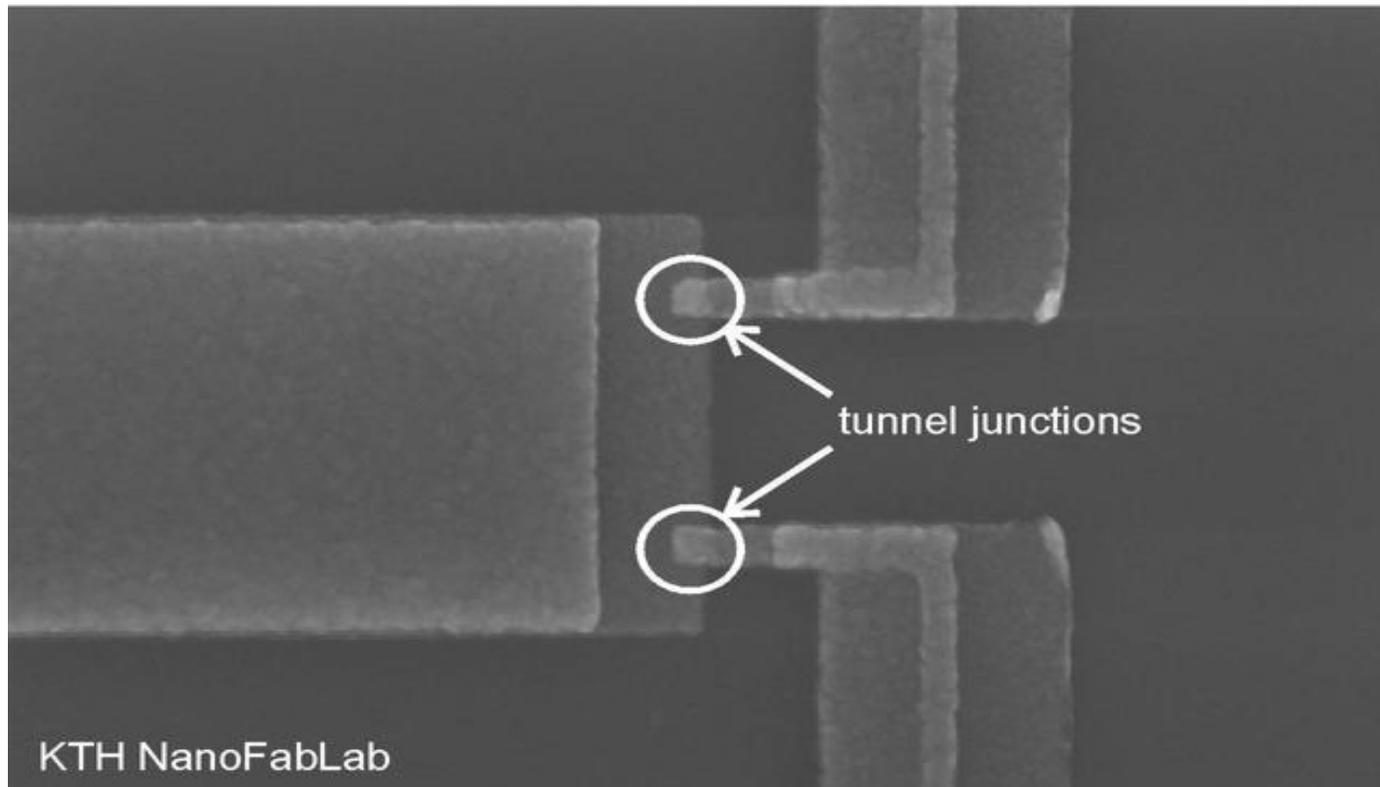
# Nanotechnologie

Schon heute sehr bedeutend sind die **Nanomaterialien**, die zumeist auf chemischem Wege oder mittels mechanischer Methoden hergestellt werden.



# Nanotechnologie

Bedeutend ist außerdem die **Nanoelektronik**.



# Nanotechnologie

Auch Österreich ist auf dem Gebiet der Nanotechnologie weltweit an der Spitze der Forschung intensiv beteiligt.

# Ursprünge der Nanotechnologie

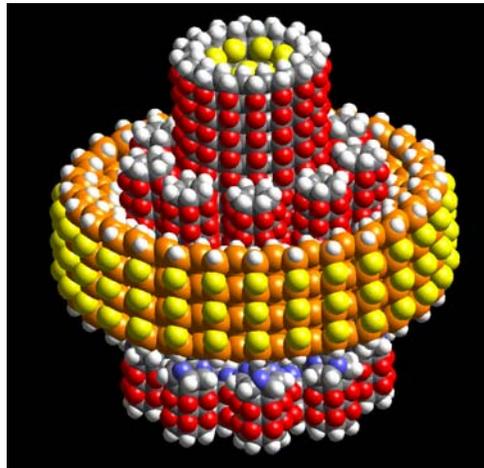
Als **Vater** der Nanotechnologie gilt Richard **Feynman** auf Grund seines im Jahre 1959 gehaltenen Vortrages "*There's Plenty of Room at the Bottom*" (*Ganz unten ist eine Menge Platz*).

As soon as I mention this, people tell me about miniaturization, and how far it has progressed today. They tell me about electric motors that are the size of the nail on your small finger. And there is a device on the market, they tell me, by which you can write the Lord's Prayer on the head of a pin. But that's nothing; that's the most primitive, halting step in the direction I intend to discuss. It is a staggeringly small world that is below. In the year 2889, when they look back at this age, they will wonder why it was not until the year 1959 that anybody began seriously to move in this direction.

Richard P. Feynman, 1959

# Nanotechnologie

- **K. Eric Drexler** machte den Begriff „Molekulare Nanotechnologie“ weithin bekannt, d.i. die Konstruktion von komplexen Maschinen und Materialien aus einzelnen Atomen.



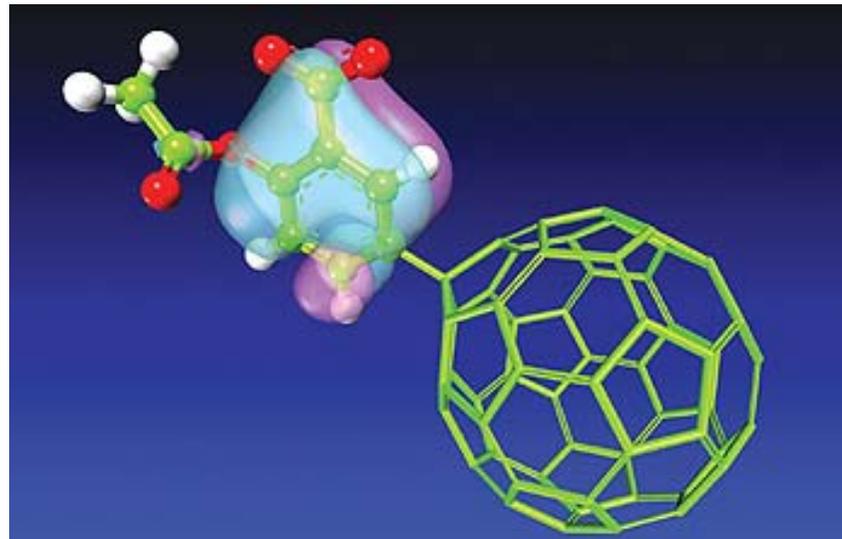
- Vielfach wurde und wird der Begriff zur Bezeichnung aller Arbeiten verwandt, die sich mit Nanostrukturen befassen, auch wenn dabei gewöhnliche chemische, pharmazeutische oder physikalische Methoden verwendet werden.

# Nanotechnologie als Trendwort

Das Präfix *nano-* ist bei Unternehmen und Wissenschaftlern heute ähnlich beliebt wie in den 70er und 80er Jahren *mikro-* (z.B. Microsoft, Advanced Micro Devices) und in den 90er Jahren das *e-* (z.B. eBanking, eGovernment, eBusiness etc.).

# Zusammenspiel der Wissenschaften

- interdisziplinär
- Physik (e.g. Konstruktion der Mikroskope, Quantenmechanik).
- Chemie (Synthese)
- Medizin (Nanopartikel)
- Biologie (self-assembled Menschen)



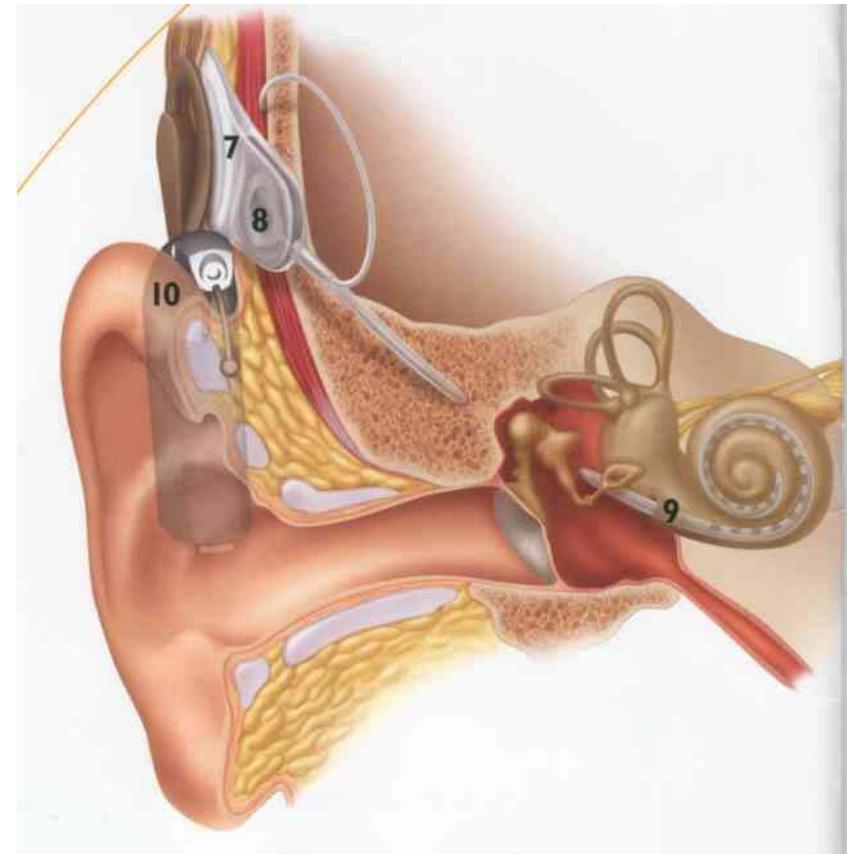
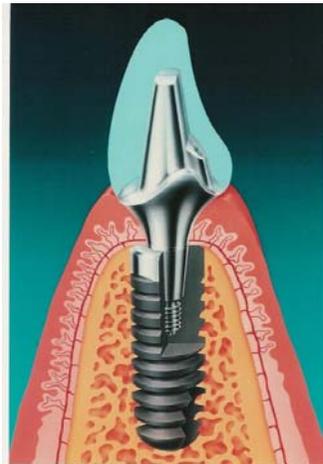
# Einsatzmöglichkeiten

- weitere Miniaturisierung der **Halbleiterelektronik** und der **Optoelektronik**
- industrielle Erzeugung neuartiger Werkstoffe wie z.B. **Nanoröhren**
- neuartige **Diagnostika** und **Therapeutika**
- neue Medikamente mit **Nanopartikeln** als Wirkstofftransporter oder Wirkstoffdepot.



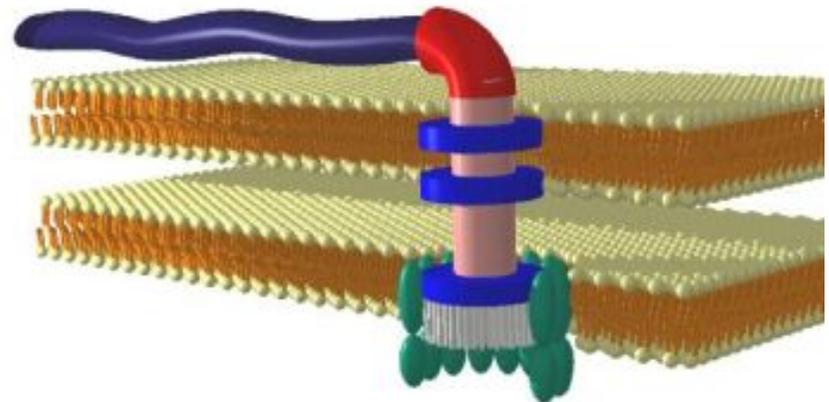
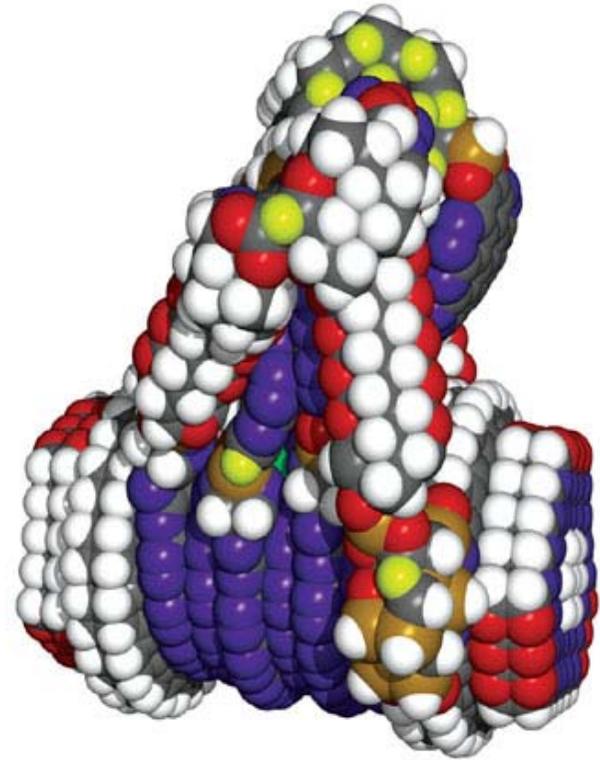
# Einsatzmöglichkeiten

Oberflächen aus Nanostrukturen bieten die Möglichkeit, langlebigere, biokompatible **Implantate** zu entwickeln.



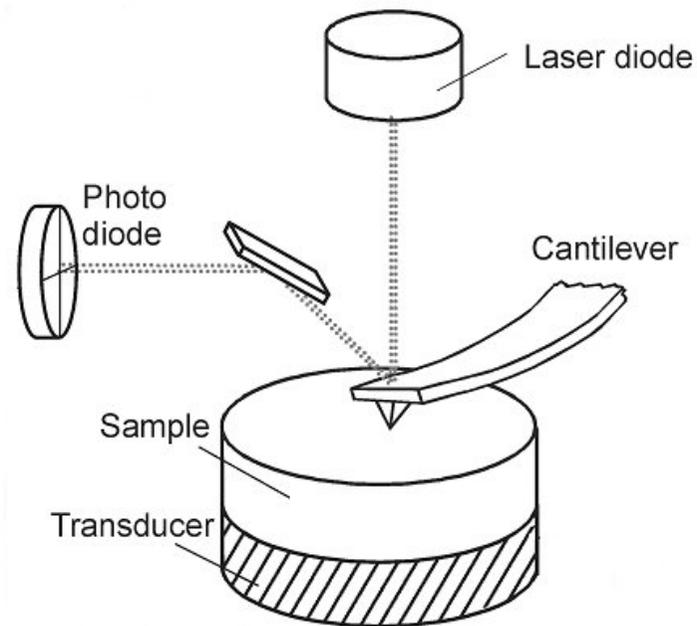
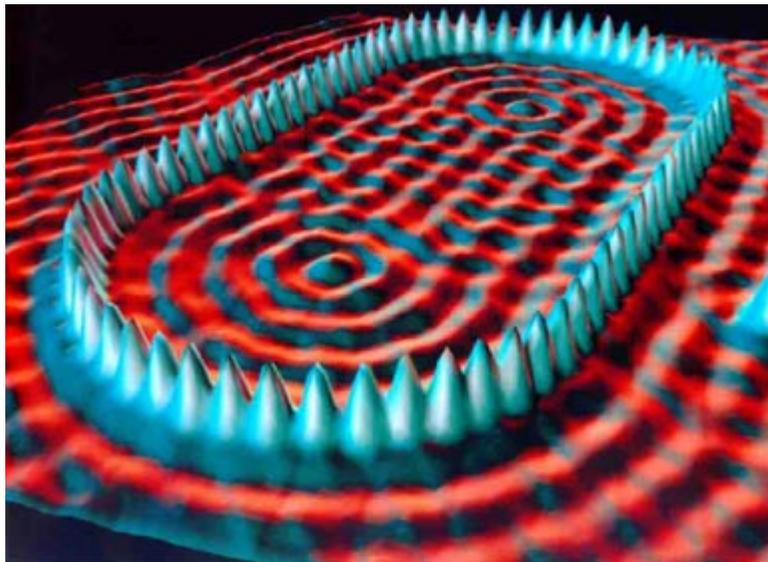
# Einsatzmöglichkeiten

Das Ziel der Entwicklung in der Nanotechnologie ist die digitale, programmierbare Manipulation der Materie auf atomarer Ebene und die daraus resultierende ***molekulare Fertigung***, bzw. MNT.

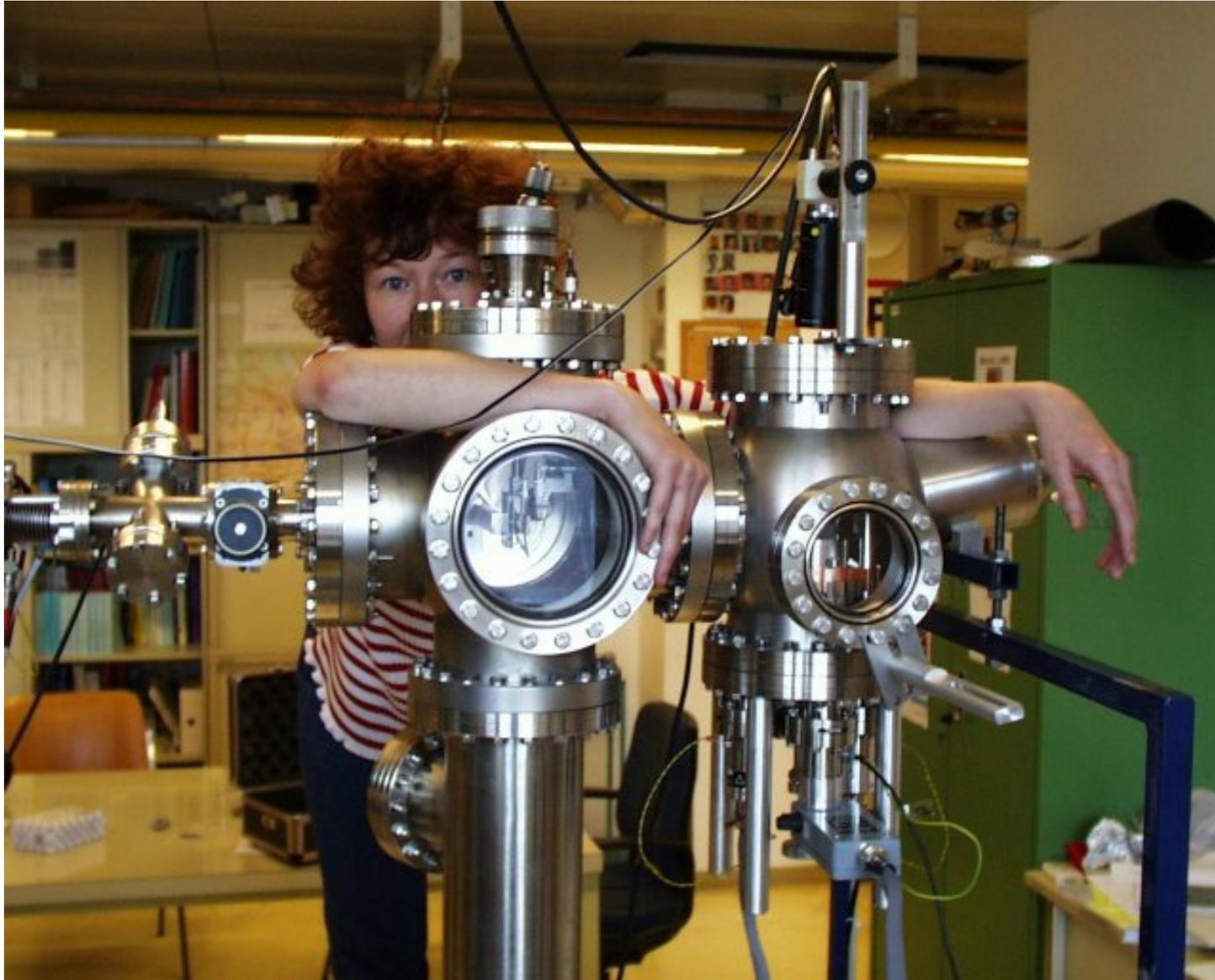


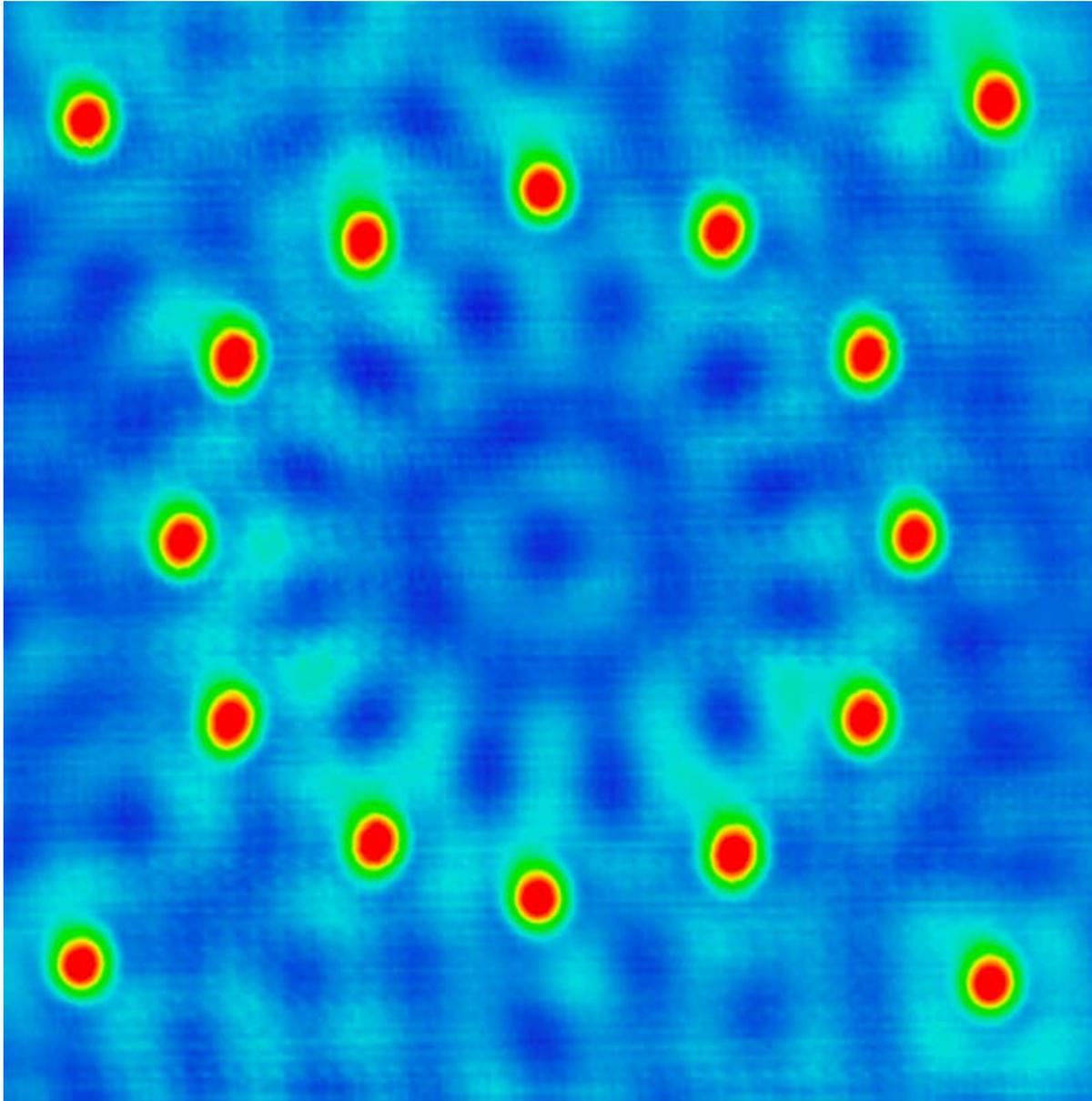
# Einsatzmöglichkeiten

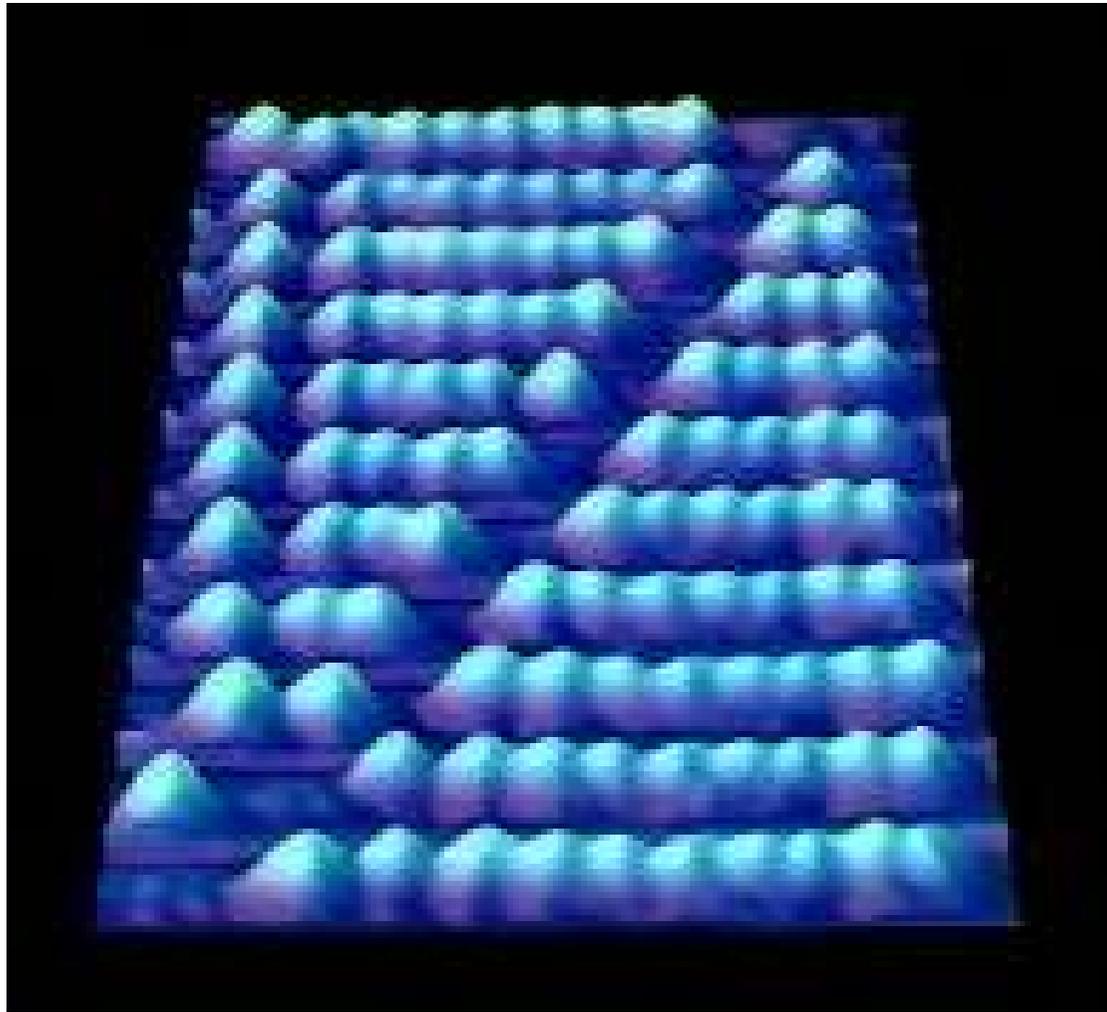
Untersuchungen bis in den atomaren Bereich sind heute mit dem Elektronenmikroskop oder dem **Rastersondenmikroskop** möglich.

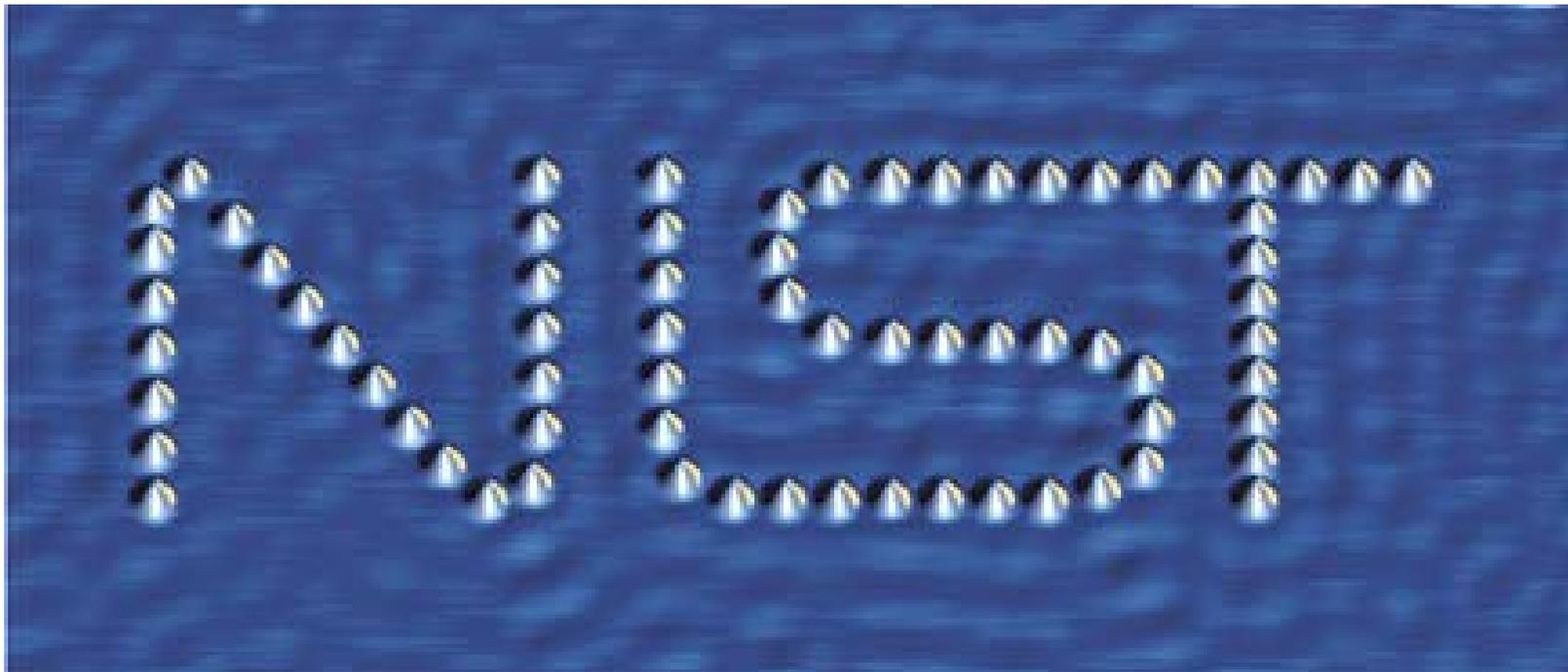


# Omicron UHV AFM/STM









# Einsatzmöglichkeiten

Die **Lebensmittelindustrie** (Nestlé) arbeitet an nanotechnologisch veränderten Lebensmitteln, um Geschmack, Farbe und andere Eigenschaften designen zu können. Nanotechnologisch hergestellte Lebensmittelzusatzstoffe sind bereits im Einsatz (BASF).

# Kritik

- Die Nord-Süd-Wissenschaftlervereinigung **ETC Group** mit Sitz in Kanada forderte 2003 erstmals ein Moratorium für die Nanotechnologie wegen befürchteter unkalkulierbarer Risiken.
- Im gleichen Jahr veröffentlichte **Greenpeace** eine kritische Studie zur Nanotechnologie.
- Im Juli 2004 legten die **Royal Society** und die **Royal Academy of Engineering** einen umfangreichen Bericht vor, in dem sie eine stärkere Regulierung von Nanotechnologien fordern. Der Bericht war ein Jahr zuvor von der britischen Regierung in Auftrag gegeben worden.

# Kritik

- Studien des Center for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN) an der **Rice University** zufolge reichern sich Nanopartikel über die Nahrungskette in Lebewesen an. Dies bedeute nicht zwangsläufig eine Schädlichkeit, betonen die Autoren, verweisen jedoch auf andere Technologien, die am Anfang ebenfalls als ungefährlich galten.
- Der Risikoforscher und Direktor des **Stockholm Environment Institute** Roger Kasperson sieht in der Nanotechnologie-Debatte Parallelen zum frühen Atomzeitalter.

**[bionano.rutgers.edu/mru.html](http://bionano.rutgers.edu/mru.html)**

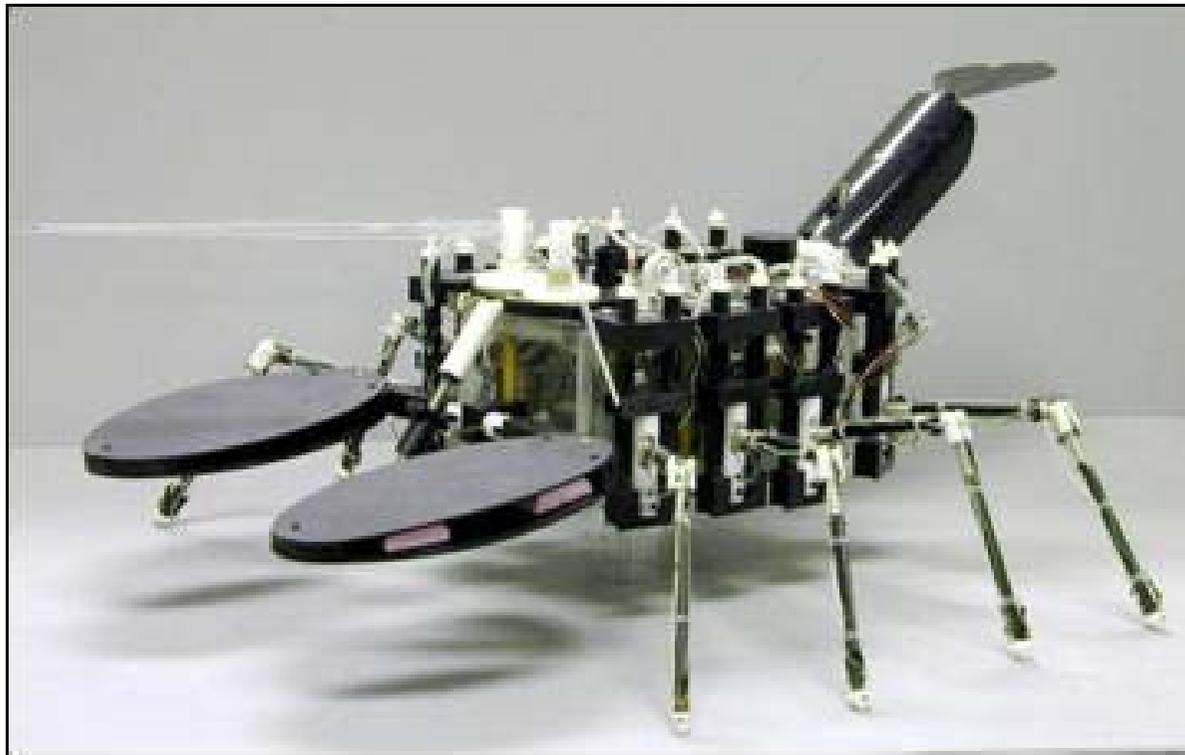
Sie nehmen die Umgebung wahr, sie reagieren darauf, und sie werden immer besser.

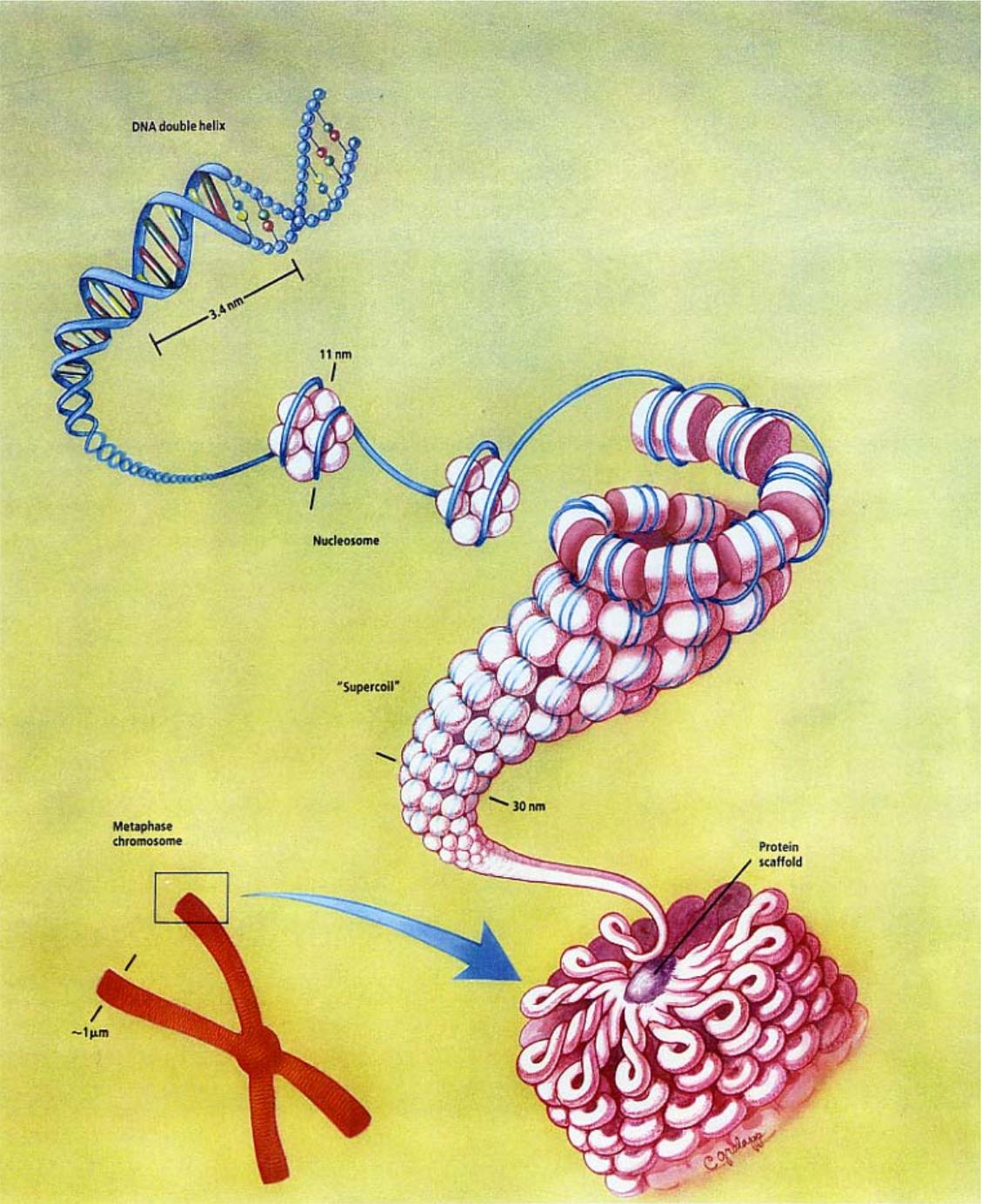
Und das auf einer Größenskala von Nanometern bis zu Metern.

Die Nanotechnologie der Natur ist eine Schatzkiste für unsere Nanotechnologie.

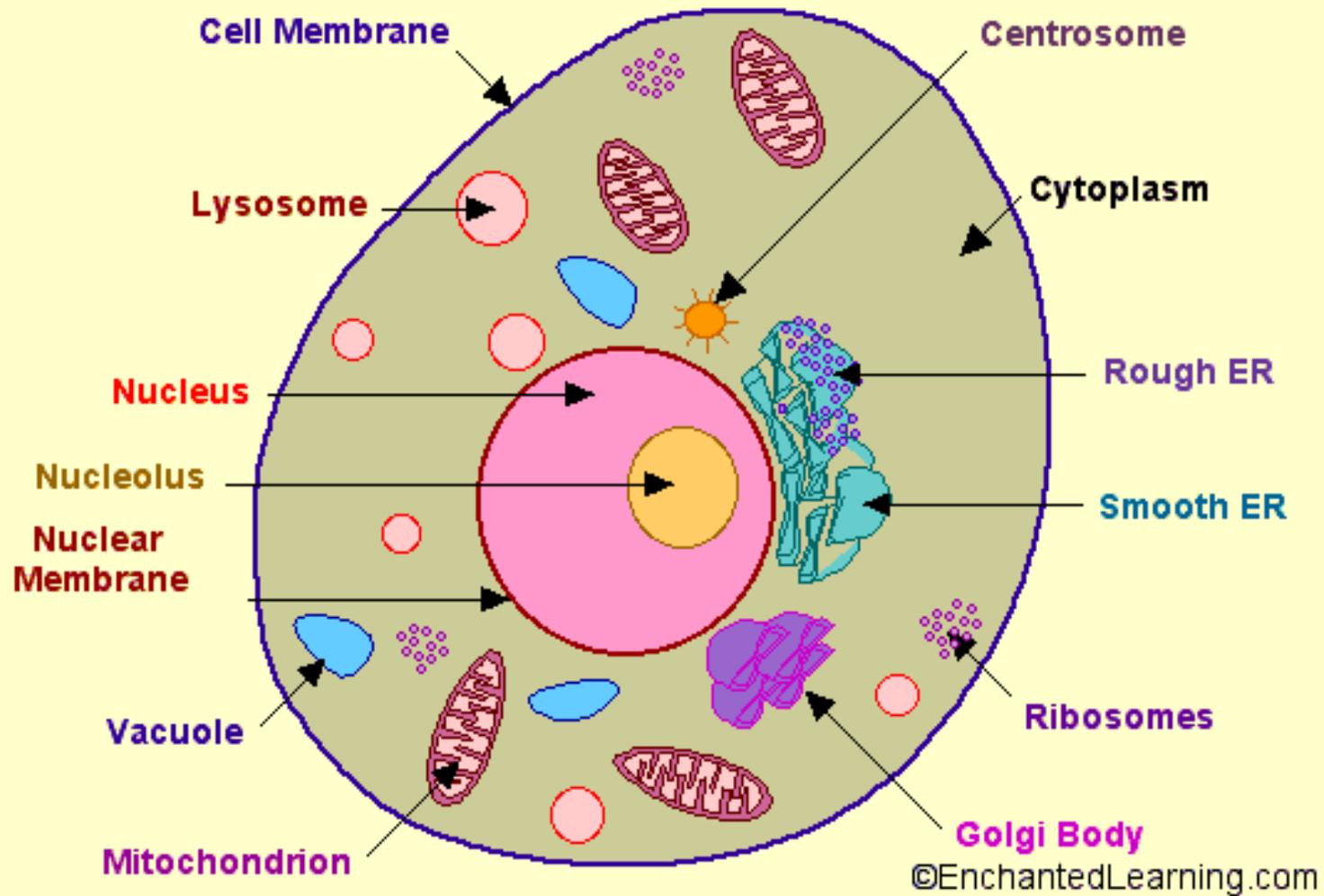
# Biomimetik (Bionik)

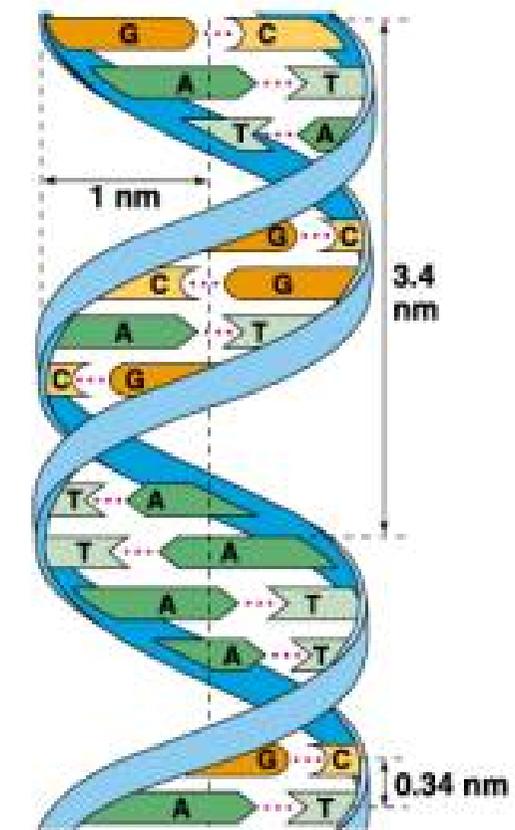
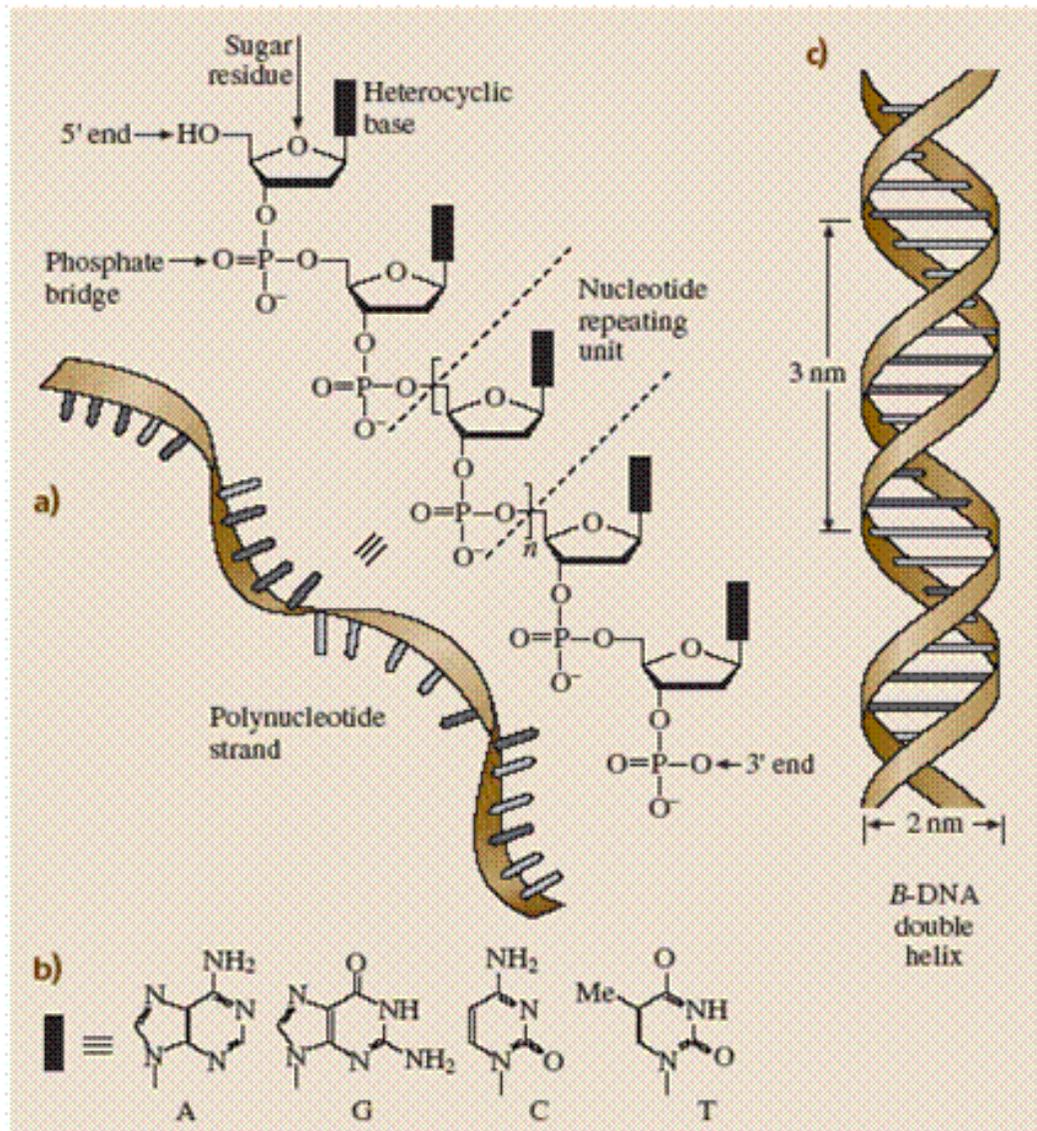
**Biomimetik** (v. griech.: *bios* = Leben + *mimesis* = Nachahmung).

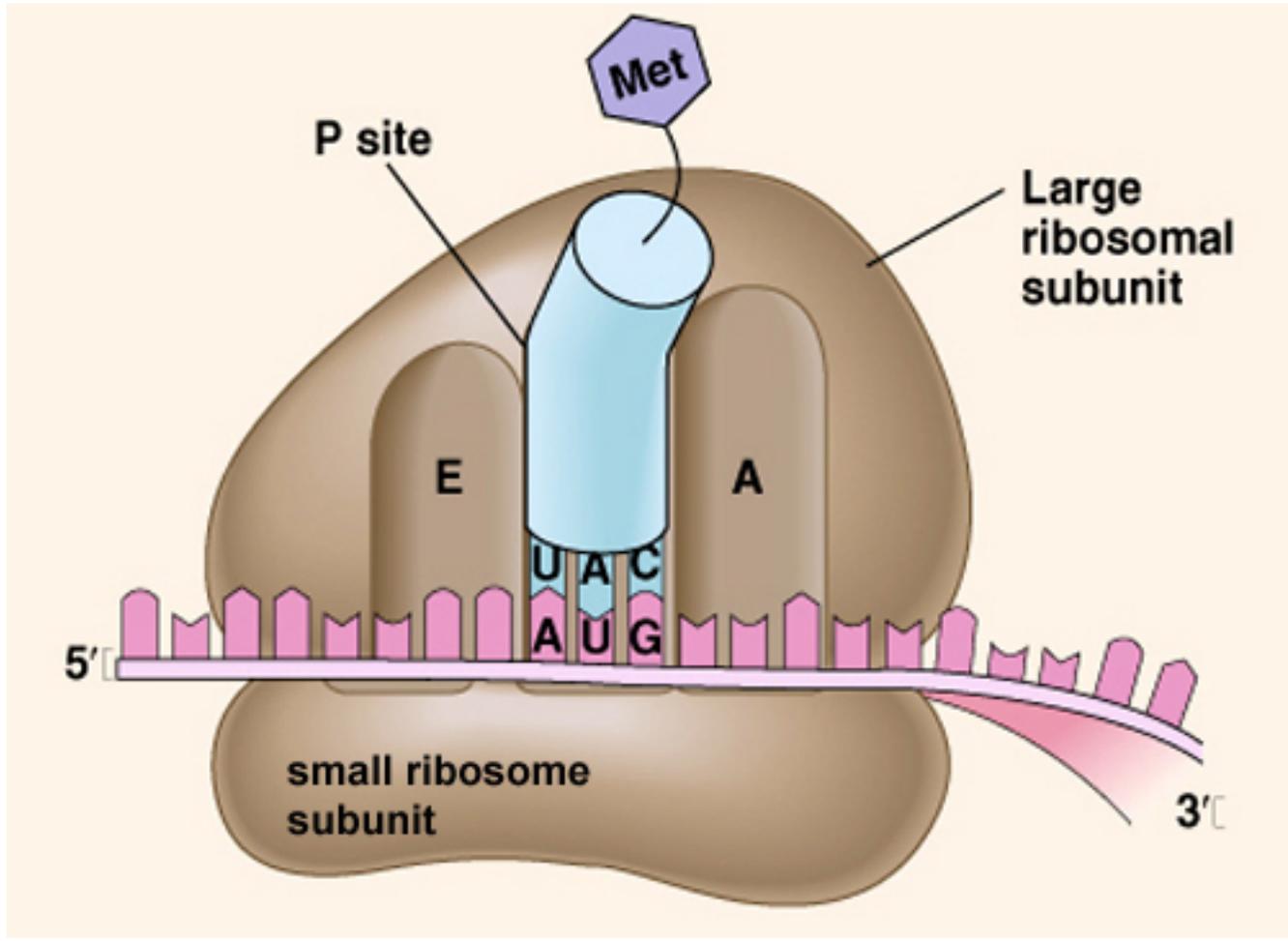




## Cross-Section of an Animal Cell







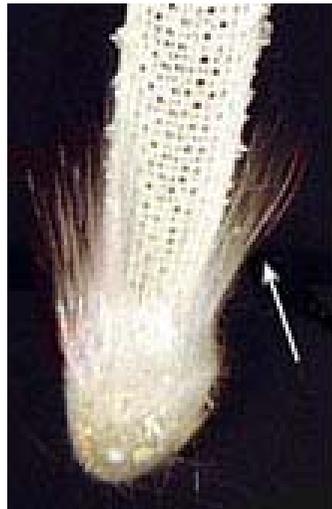
# Biomimetik (Bionik)

Der deutsche Ausdruck **Bionik** setzt sich aus "Biologie" und "Technik" zusammen und bringt damit zum Ausdruck, wie für technische Anwendungen Prinzipien verwendet werden können, die aus der Biologie abgeleitet wurden.



# Bionik

In der Bionik werden biologische Strukturen und Organisationformen entweder direkt als Vorlage verwendet (Bionik als **top down-Prozess**, Analogie-Bionik) oder abstrahiert (losgelöst vom biologischen Vorbild, Bionik als **bottom up-Prozess**, Abstraktions-Bionik) und als Ideenvorlage oder Inspiration für technische Problemlösungen zu Nutze gemacht.



# Bionik

Die abstrahierten Form-, Struktur- oder Formprinzipien natürlicher Systeme können dann in technische Anwendungen übertragen werden.

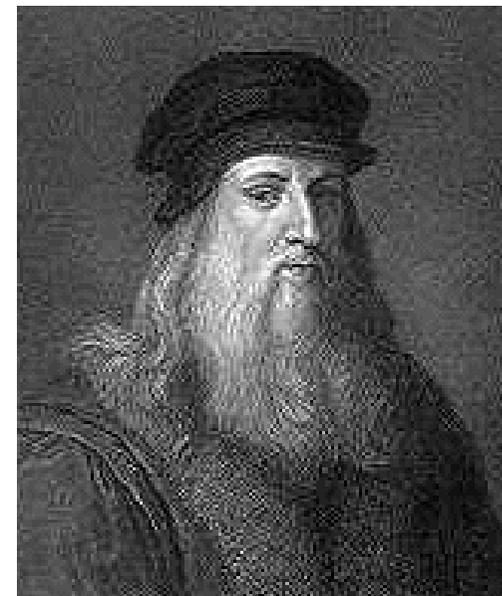
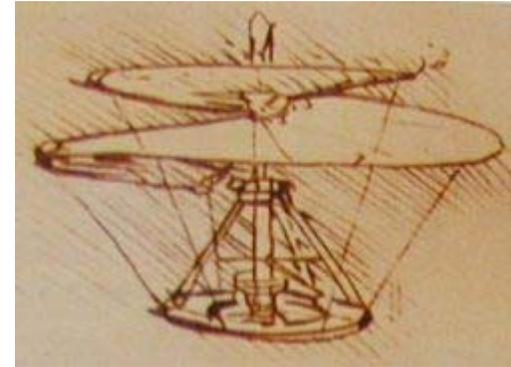
Nachdem diese neuen Prinzipien in der Technik etabliert sind, können die Anwendungen in jedem geeigneten Bereich statt finden.

Diese Herangehensweisen werden u. a. dadurch begründet, dass im Laufe der Evolution viele biologische Lösungen optimiert wurden.

Für Kreationisten sind die oft verblüffenden Erkenntnisse der Bionik dagegen weitere Beweise für das Intelligent Design durch einen Schöpfer in der Natur.

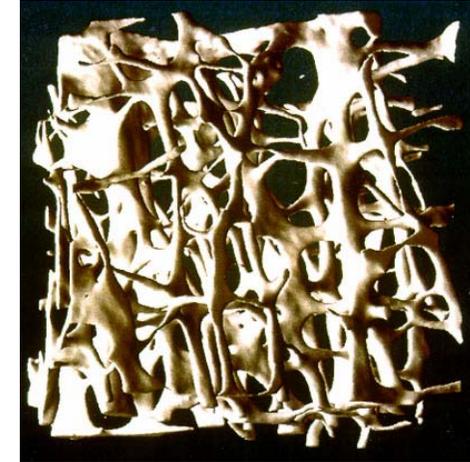
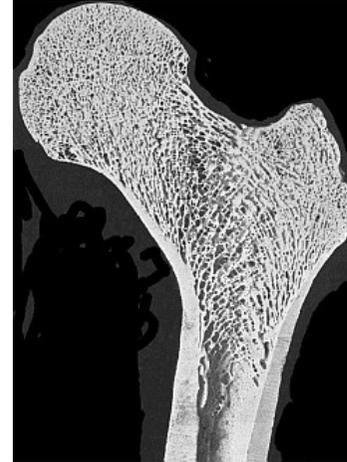
# Bionik

- Als historischer Begründer der Bionik wird häufig **Leonardo da Vinci** angeführt, der z. B. den Vogelflug analysierte und versuchte, seine Erkenntnisse auf Flugmaschinen zu übertragen.
- Das erste deutsche Patent im Bereich Bionik wurde 1920 Raoul Heinrich Francé für einen „Neuen Streuer“ nach dem Vorbild einer Mohnkapsel erteilt (Dt. Patentamt, Nr. 723730).
- Allerdings hat sich die Bionik erst in den letzten Jahrzehnten v. a. aufgrund neuer und verbesserter Methoden (Rechnerleistung, Produktionsprozesse) zu einer etablierten Wissenschaftsdisziplin entwickelt.



# Bionik

Zu beachten ist, dass bei der Entwicklung technischer Funktionselemente parallele Entwicklungen in der Natur nicht immer bereits bekannt waren. So wurde das **Fachwerk** ohne Kenntnis der Feinstruktur der **Knochenbälkchen** entwickelt. In solchen Fällen kann man nicht von einer Vorbild-Nachahmer-Beziehung sprechen, sondern eher von Entsprechungen zwischen Natur und Technik.



# Bionik

- Biomimetik bzw. Bionik als Wissenschaftsdisziplin sucht dagegen gezielt nach Strukturen in der Natur, die technisch als Vorbilder von Bedeutung sein können.
- Diese Vorgehensweise kann häufig als reine Analogien-Suche bezeichnet werden. Sie erlaubt allerdings meist nur kleinere Innovationssprünge, da die technische Anwendung bereits erkennbar sein muss.
- Alternativ können durch biologische Grundlagenforschung bestimmte Struktur- oder Organisationsprinzipien beschrieben werden, die erst danach als geeignet für eine Übertragung in die Technik erkannt werden.

# Bionik

- **Bionik als top-down-Prozess**
- Problem definieren
- in der Natur Analogien suchen
- Vorbilder aus der Natur analysieren
- mit Erkenntnissen aus der Natur Ideen für das zu lösende Problem suchen

# Bionik - Beispiele

**Winglets und Spiroid** an Flugzeugflügeln.

Hoher Treibstoffverbrauch durch große Wirbel an den Flügelspitzen von Flugzeugen.

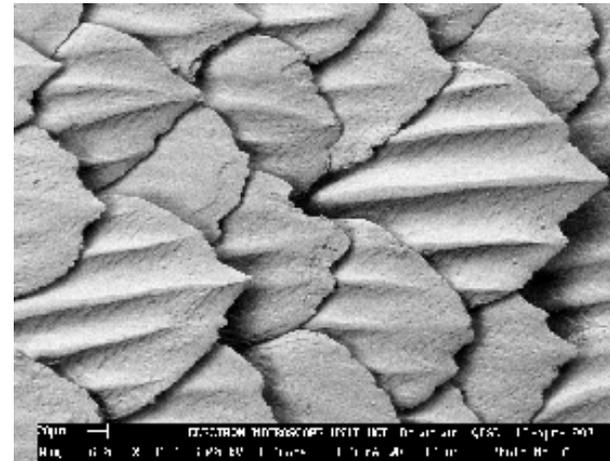
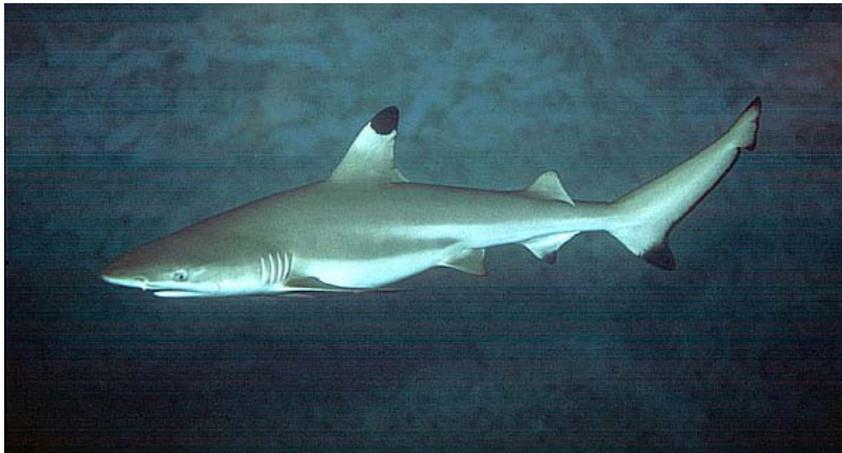
Untersuchung von Flügeln segelnder/gleitender Vögel als Flugzeug-Analogie. Beschreibung der Handschwinge von bestimmten Vogelarten (z. B. Bussard, Kondor und Adler), die statt eines großen Wirbels mehrere kleinere verursachen und damit insgesamt weniger Energie verbrauchen.

Herstellung künstlicher Flügel mit mehreren Wirbelablösestrukturen (Winglets).



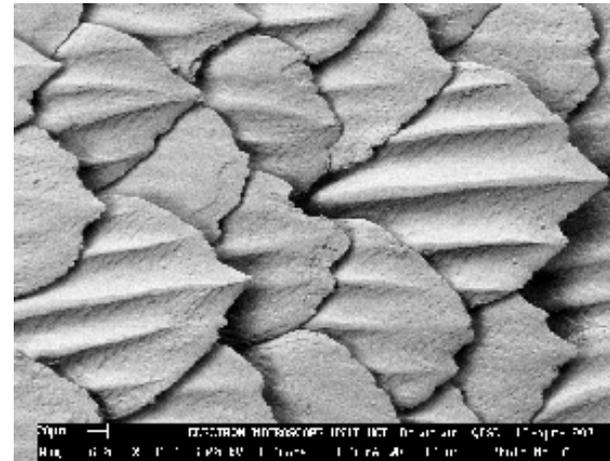
# Bionik - Beispiele

**Riblet-Folien:** bei schnell schwimmenden Haien besteht die Hautoberfläche aus kleinen, dicht aneinander liegenden Schuppen. Auf diesen Schuppen befinden sich scharfkantige feine Rillen, die parallel zur Strömung ausgerichtet sind.



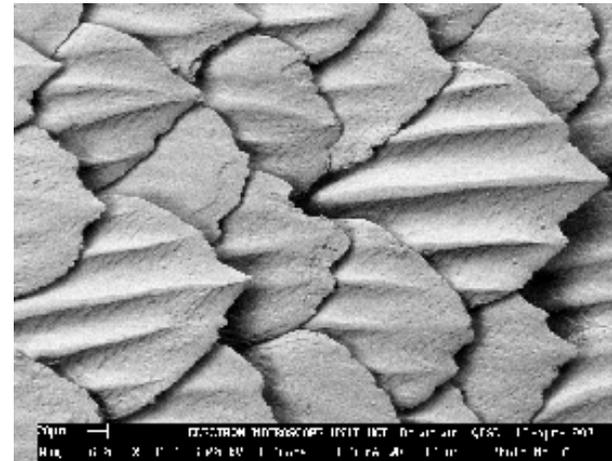
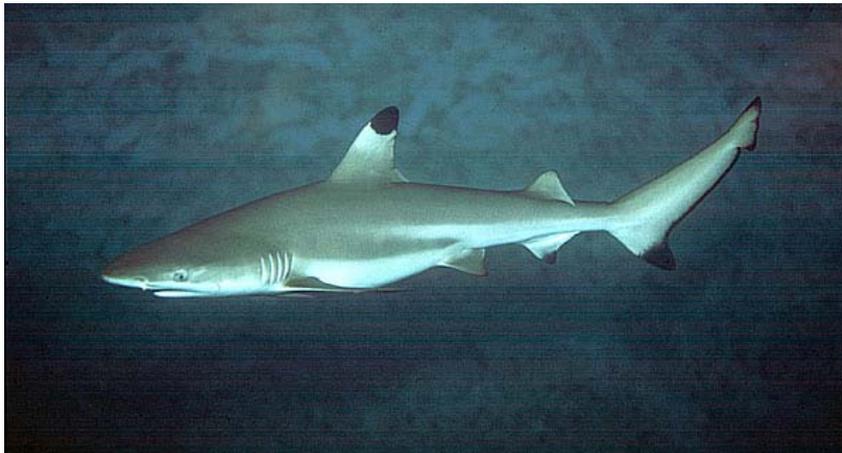
# Bionik - Beispiele

Diese mikroskopisch kleinen Rillen bewirken eine Verminderung des Reibungswiderstands. Dieser widerstandsvermindernde Effekt in allen turbulenten Strömungen, also auch in Luft wirksam.



# Bionik - Beispiele

Flugzeuge können mit einer speziellen Folie beklebt werden (so genannte Riblet-Folien), die auf ihrer Oberseite über eine sehr ähnliche Struktur verfügt und so den Luftwiderstand des Flugzeugs senkt.



# Klettverschluss

Der **Klettverschluss** ist ein textiles, fast beliebig oft zu lösendes Verschlussmittel, das auf dem Prinzip von Klettenfrüchten beruht. Es besteht aus z. B. zwei Nylonstreifen, wovon einer Widerhäkchen, der andere Schlaufen hat. Zusammengepresst ergeben sie einen haltbaren Schnellverschluss.



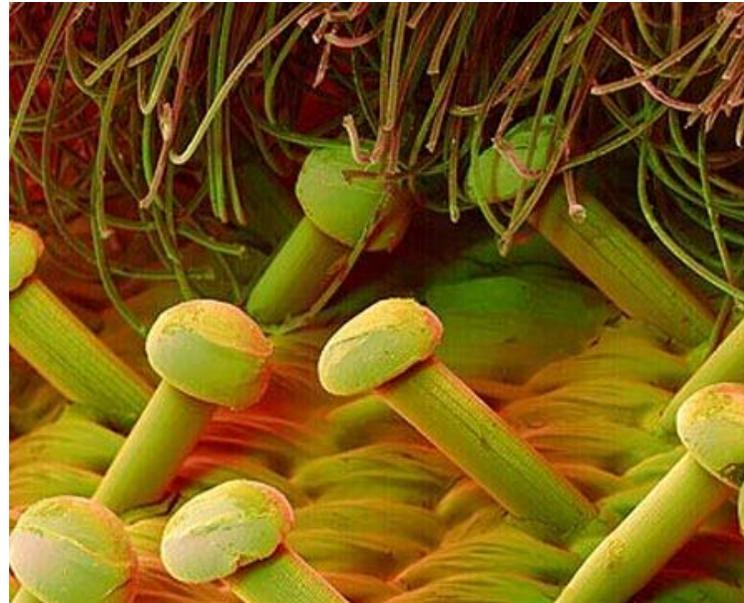
# Klettverschluss

Der schweizerische Ingenieur **George de Mestral** unternahm mit seinen Hunden oft Spaziergänge in der Natur. Immer wieder kamen einige Früchte der Großen Klette (*Arctium lappa*) mit dem Fell der Hunde in Kontakt und blieb in diesem hängen. 1948 legte er die Früchte unter sein Mikroskop und entdeckte, dass die Früchte winzige elastische Häkchen tragen, welche auch bei gewaltsamen Entfernen aus Haaren oder Kleidern nicht abbrechen.



# Klettverschluss

Georges de Mestral untersuchte deren Beschaffenheit und sah darin eine Möglichkeit, zwei Materialien auf einfache Art reversibel zu verbinden. Er entwickelte den textilen Klettverschluss und meldete seine Idee 1951 zum Patent an. Vermarktet wurde das Produkt erstmals unter dem Namen **Velcro**. Zusammengesetzt aus den französischen Begriffen **velours** und **crochet**.



# Abstraktions-Bionik

- **Bionik als bottom-up-Prozess (Abstraktions-Bionik)**
- biologische Grundlagenforschung: Biomechanik und Funktionsmorphologie von biologischen Systemen
- erkennen und beschreiben eines zu Grunde liegenden Prinzips
- Abstraktion dieses Prinzips (Loslösung vom biologischen Vorbild und Übersetzung in nicht-fachspezifische Sprache)
- mögliche technische Anwendungen suchen
- in Kooperation mit Ingenieuren, Technikern, Designern, etc. eine technische Anwendung entwickeln

# Abstraktions-Bionik - Beispiele

Unbenetzbarkeit und Selbstreinigung bestimmter biologischer Oberflächen:

Die Beobachtung und nähere Untersuchung der Tatsache, dass von einem Blatt der Lotuspflanze praktisch alle wasserlöslichen Substanzen abperlen (Lotuseffekt) ....



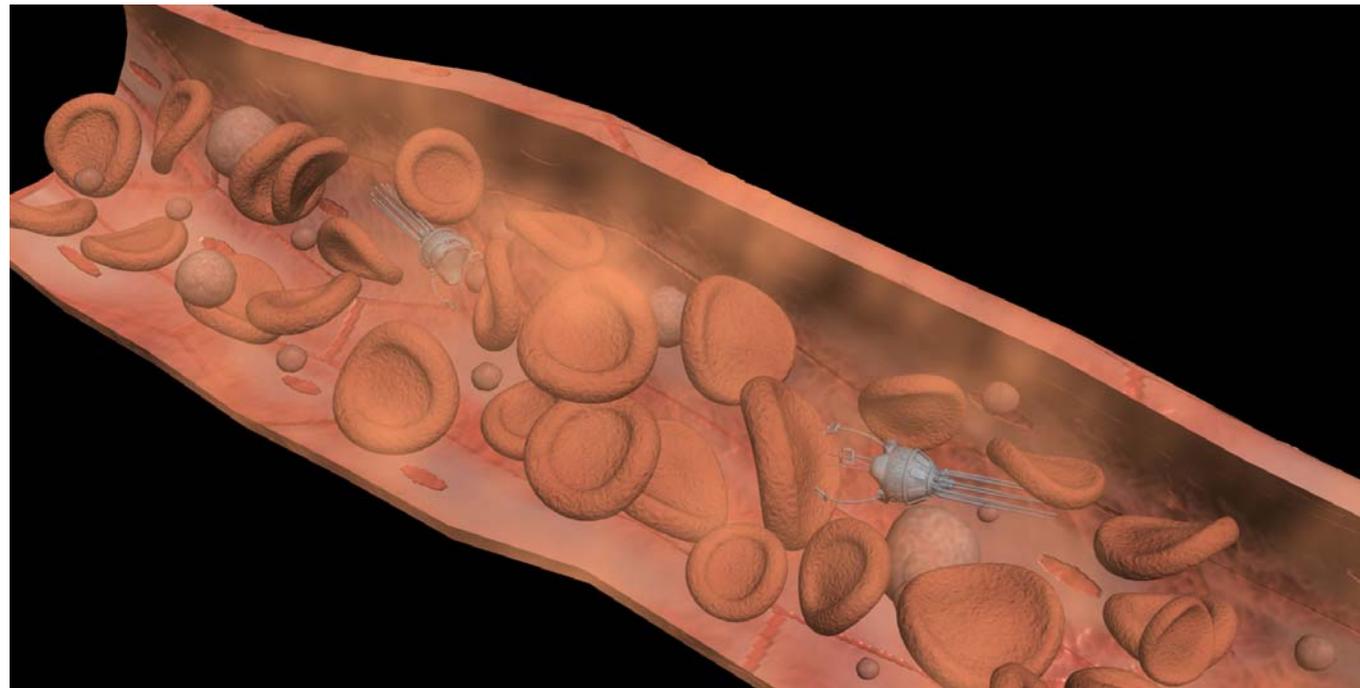
# Abstraktions-Bionik - Beispiele

... führte zu Patenten für extrem schlecht benetzbare und selbstreinigende Oberflächenstrukturen (bzw. eine neue künstliche Oberfläche: z. B. als Fassadenfarbe).



# Nanoboter

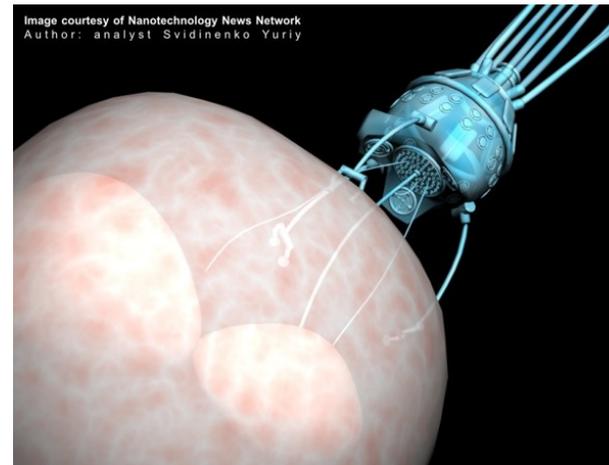
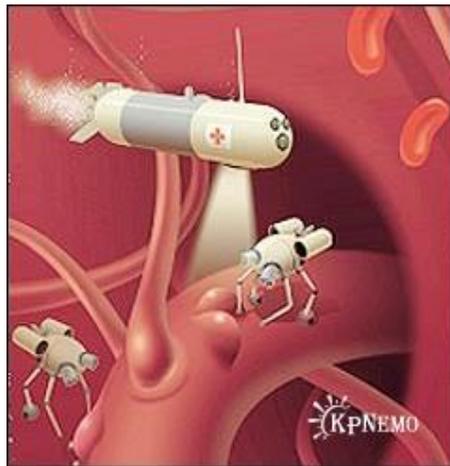
Unter **Nanobots** oder **Nanorobotern** (auch: **Naniten**) versteht man (noch hypothetische) autonome Kleinstmaschinen (Roboter) als eine der Hauptentwicklungsrichtungen der [Nanotechnologie](#).



# Nanoboter

Heute denkbare Prototypen wären von der Größe eines Streichholzkopfes, in nicht allzuferner Zukunft sollen sie auf die Größe von Blutkörperchen oder darunter schrumpfen und zur Fortbewegung befähigt sein.

Solchen Maschinen wird eine große Zukunft in der Medizin vorausgesagt, da sie selbsttätig z.B. im menschlichen Organismus auf der Suche nach Krankheitsherden (wie Krebszellen) zu deren Beseitigung unterwegs sein können.



# Nanoboter

Für medizinische Anwendungen wären auch lange, dünne, faserförmige Nanobots geeignet, die zwischen den Körperzellen oder in den Blutgefäßen verlaufen.

Dadurch wäre es möglich, von außerhalb des Patienten Energie, Information und Material zuzuführen. Diese Anwendung der Nanobots wäre eine direkte Weiterentwicklung der [minimal-invasiven Chirurgie](#).

Die Positionierung und Steuerung von frei schwimmenden Nanobots wäre dann nicht mehr notwendig.

Bacteriophage Structure

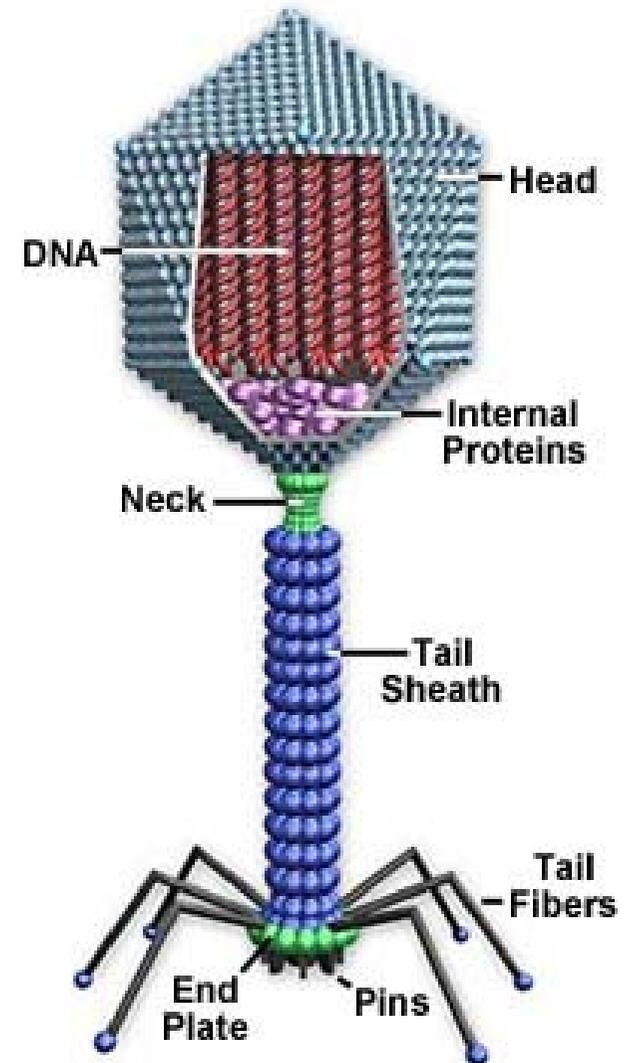


Figure 1

# Nanoboter – Anwendungsmöglichkeiten

- Medizin
- Krebsbeseitigung, Nachbau von Knochen und Organen, Operationen
- Produktion
- Herstellung von Produkten, nur die richtigen Atome müssen vorliegen -> Müll als Rohstoff
- Computernetzwerk und Überwachung durch "Intelligenten Staub"



# Nanoboter

## - Militärische Anwendungen

Naniten könnten nicht nur zur Überwachung und Spionage eingesetzt werden, auch die Herstellung von benötigten Produkten wäre möglich. Allerdings könnten Naniten auch als Waffe eingesetzt werden.



# Halb Tier, halb Maschine

Insekten der anderen Art sollen der US-Armee in Zukunft im Einsatz zur Hand gehen. Nach einem britischen Zeitungsbericht forschen derzeit Wissenschaftler im Pentagon-Auftrag an fliegenden und krabbelnden Cyborgs. Nicht wie bisher werden Tiere dabei nur mit Chips oder Sensoren bestückt. Diesmal will man im Think-Tank der US-Armee Tiere und Technik zu einer Einheit verschmelzen lassen. "Störende" Instinkte werden bei den fliegenden Spionen ausgeschaltet.

# "Störende" Instinkte abgeschaltet

Bienen auf der Suche nach Sprengstoff oder Haie als lautlose Spione unter Wasser: Das Pentagon investiert seit Jahren massiv in die Forschung rund um "advanced biological systems", **Tiere im Dienste der Kriegsführung.**

Nun unternehmen Forscher im Auftrag der US-Armee allerdings einen Schritt in Richtung Militärtechnologie der Zukunft, der bisher eher Stoff für Science Fiction war.



# Die Tiermaschine

- Neu ist allerdings, dass die Forscher nun zum ersten Mal Tier und Technik zu einem Ganzen verschmelzen lassen wollen.
- Mikrotechnologie soll Insekten im Larven- bzw. Puppenstadium implantiert werden und im Laufe der Entwicklung der Tiere mit diesen quasi verwachsen. Zu Nutze machen wollen sich die Forscher dabei eine spezifische Eigenschaft von Insekten.



# Besser als einfache Implantate

- "Während der Metamorphose (wenn sich Insekten von Larven zu erwachsenen Tieren entwickeln, Anm.) erneuert sich deren Körper permanent", verrät ein Infotext der Pentagon-Agentur.
- Diese Eigenschaft mache es leichter, den Tieren Mikrotechnologie zu implantieren, da z. B. auch Wunden in diesem Entwicklungsstadium sehr rasch verheilen.
- Tier und Technologie könnten derart zu einer Einheit verschmelzen, die der bisherigen Variante der Implantation bei erwachsenen Tieren überlegen sei, meinen die DARPA-Forscher.

# "Die Tiere waren nicht zuverlässig"

- Bisher kamen den Wissenschaftlern bei ihren Versuchen, etwa Insekten auf die Suche nach Sprengstoff zu trainieren, außerdem die Instinkte der Tiere in die Quere.
- Diese sollen nunmehr ebenfalls ausgeschaltet werden.
- "Instinktverhalten wie die Suche nach Futter oder nach Paarungspartnern (oder Temperaturunterschiede) waren dafür verantwortlich, dass die Tiere nicht zuverlässig waren", zitiert der "Guardian" die Militärentwickler.

# Per Fernsteuerung ans Ziel

- Implantierte Mikrochips und Fernsteuerung sollen deshalb künftig dafür sorgen, dass die fliegenden Cyborgs ihr Ziel - und nur dieses anvisieren.
- Es soll am Ende möglich werden, Insekten "bis auf fünf Meter an ein 100 Meter entferntes Ziel" heranzuführen und dafür zu sorgen, dass sie auch dort blieben, wo sie gebraucht werden.

# Sprengstoff auf der Spur

- Eingesetzt werden könnten die Tiere am Ende etwa zum Aufspüren von Sprengfallen. Sie machen heute eine der größten Bedrohungen für US-Soldaten im Kriegseinsatz aus.
- Erst kürzlich kündigte US-Präsident George W. Bush an, dass seine Regierung mehr als drei Mrd. US-Dollar in ein Programm gegen diese Gefahr Nummer eins ("improvised explosive devices") etwa für die US-Armee im Irak investieren werde. In die Entwicklung der fliegenden Cyborgs fließt ein Teil des Geldes.

# Links

- Pentagon

<http://www.defenselink.mil/pubs/pentagon/>

- DARPA

[http://www.darpa.mil/body/off\\_programs.html](http://www.darpa.mil/body/off_programs.html)

- ["Guardian"-Artikel](http://www.guardian.co.uk/usa/story/0,,1731037,00.html)

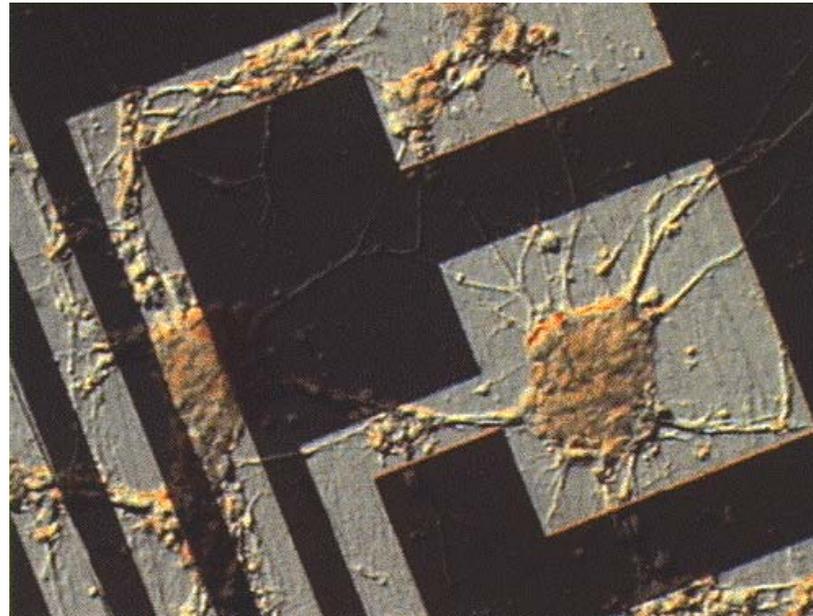
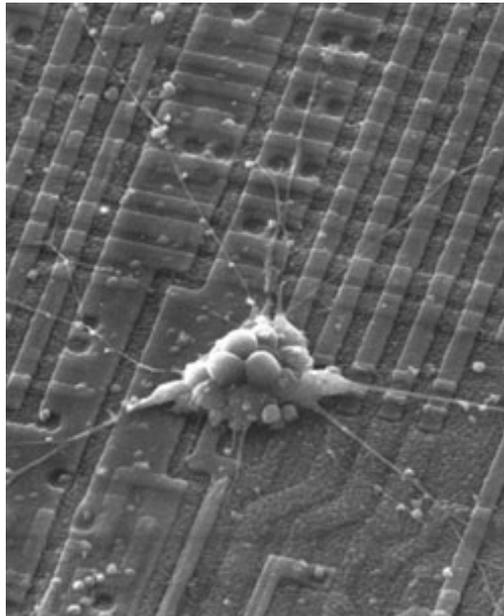
<http://www.guardian.co.uk/usa/story/0,,1731037,00.html>

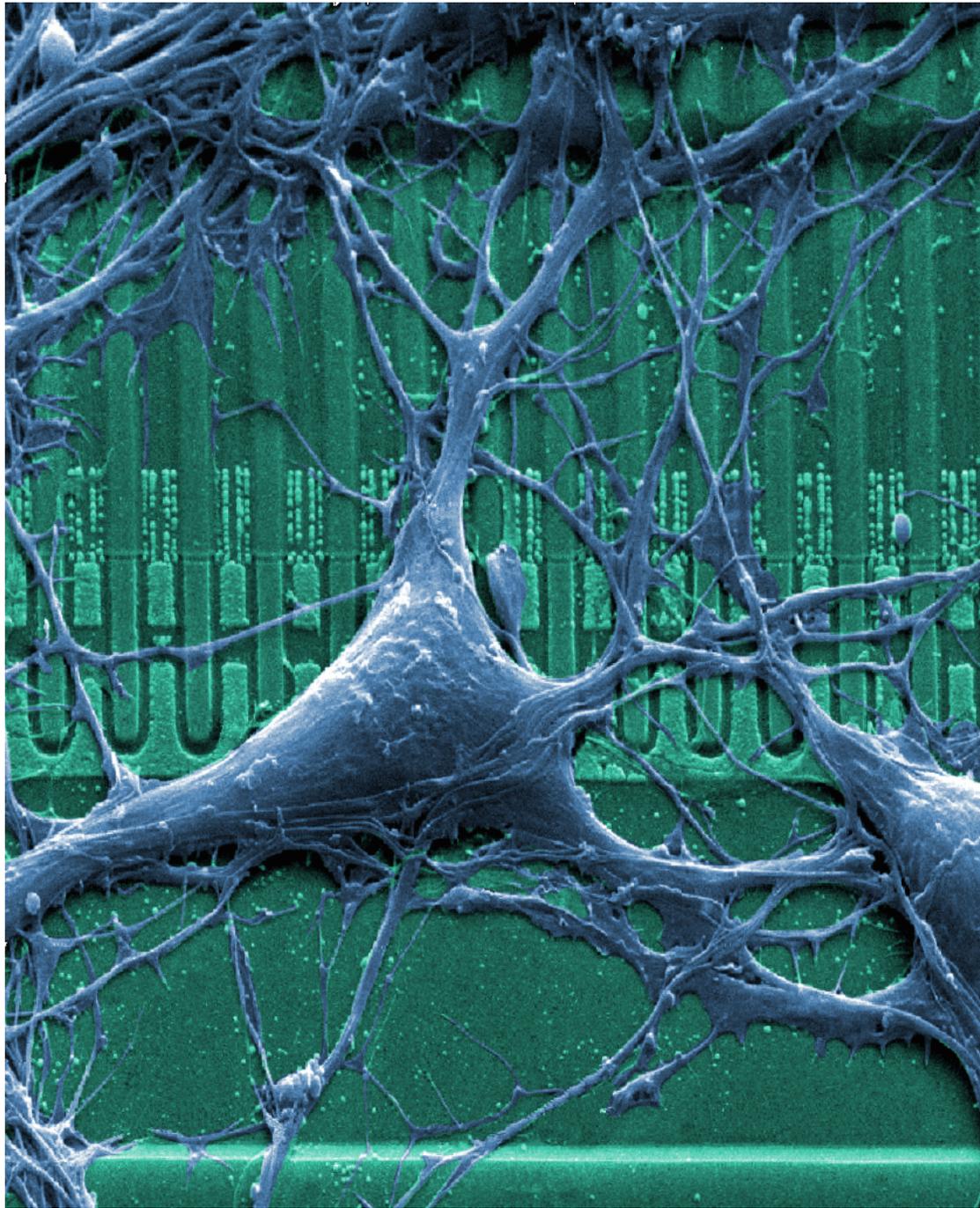
- Cyborg (Wikipedia)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Cyborg>

# Bioelektronik

Die Bioelektronik bezeichnet Bestrebungen in der modernen Biotechnologie, biologische Elemente mit technischen Elementen zu verbinden.





# Nanoboter - Negativszenarien

Das von Eric Drexler in seinem Buch [Engines of Creation](#) geprägte Schlagwort des [grey goo](#) (etwa: "grauer Schleim") hat eine gewisse Popularität gewonnen: Damit gemeint sind die von Myriaden von [amoklaufenden](#) und selbstvermehrenden, aggressiven Nanobots hinterlassenen Reste der Dinge der Erdoberfläche.

