

Einführung in die Konzepte der Nanotechnologie



In diesem Kapitel

- ▶ Was definiert Nanotechnologie
- ▶ Verstehen, wie sich Materialien im Nanometermaßstab von makroskopischen Körpern unterscheiden
- ▶ Die Bottom-up- und Top-down-Ansätze zum Erreichen des Nanometerbereichs untersuchen
- ▶ Die Rolle der Nanotechnologie in verschiedenen Wissenschaftsbereichen und der Industrie verfolgen

Die Nanotechnologie existiert erst seit etwa fünfzig Jahren als ein eigenständiger Zweig der Wissenschaft, sodass sie ein Baby im Vergleich zur Physik und Biologie ist, deren Wurzeln mehr als tausend Jahre zurückreichen. Wegen des geringen Alters der Nanotechnologie und weil sich unser Verständnis noch weiter entwickeln muss, ist ihre Definition noch im Fluss, wie Sie in diesem Kapitel feststellen werden.

Wir helfen Ihnen dabei, die Nanotechnologie zu verstehen, indem wir sie mit bekannteren Konzepten wie der Atomstruktur vergleichen. Darüber hinaus untersuchen wir, wie sich Materialien im Nanometerbereich verändern.

Schließlich reicht das Versprechen, das die Nanotechnologie für die menschliche Rasse bereithält, von der Verlängerung unseres Lebens um Jahrhunderte über die Bereitstellung von billiger Energie bis zur Reinigung von Luft und Wasser. In diesem Kapitel untersuchen Sie den großen Wirkungsbereich der Nanotechnologie, der sich auf verschiedene wissenschaftliche Disziplinen und viele Industriezweige erstreckt.

Was ist überhaupt Nanotechnologie?

Um Ihnen zu helfen, zu verstehen, was Nanotechnologie genau ist, beginnen wir, indem wir Ihnen eine Definition anbieten – oder auch zwei. Anschließend vergleichen wir Teilchen im Nanometermaßstab mit Atomen.

Eine genaue Definition geben

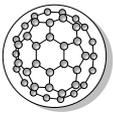
Die *Nanotechnologie* befindet sich noch in der Entwicklung, und es scheint keine Definition zu geben, der wirklich jeder zustimmt. Wir wissen, dass sich die Nanotechnologie mit Materie auf einer sehr kleinen Skala beschäftigt: größer als Atome, aber kleiner als ein Brotrümel. Wir wissen, dass sich das Verhalten von Materie im Nanometerbereich stark von dem der ent-

sprechenden makroskopischen, also ausgedehnten, Körper unterscheiden kann. Darüber hinaus beschäftigen sich einzelne Personen und Gruppen mit verschiedenen Aspekten der Nanotechnologie als Disziplin. Damit Sie sich ein Bild machen können, folgen hier einige Definitionen der Nanotechnologie.

Die folgende Definition ist wahrscheinlich die reduzierteste, über die man sich allgemein einig ist:

Nanotechnologie ist das Studium und der Gebrauch von Strukturen im Größenbereich zwischen einem Nanometer (nm) und 100 Nanometern.

Um diese Größen ins richtige Licht zu rücken, betrachten Sie folgendes Beispiel: Sie müssten eine Milliarde Teilchen mit Nanometergröße aufeinanderstapeln, um die Höhe eines ein Meter hohen Tisches zu erreichen. Ein anderer bekannter Vergleich besteht darin, dass Sie 80.000 Nanometer in der Dicke eines einzelnen Haares unterbringen könnten.



Das Wort *nano* ist die wissenschaftliche Vorsilbe, die für 10^{-9} oder den milliardensten Teil steht. Es stammt von dem griechischen Wort *nanos* und bedeutet Zwerg.

Die folgende Definition stammt vom Foresight Institute und berücksichtigt zusätzlich die verschiedenen Wissenschaftsfelder, die im Zusammenhang mit der Nanotechnologie eine Rolle spielen:

Strukturen, Bauteile und Systeme haben aufgrund der Anordnung ihrer Atome im Bereich von einem bis 100 Nanometern neuartige Eigenschaften und Funktionen. Viele Felder tragen zur Nanotechnologie bei, unter anderem die Molekularphysik, Materialwissenschaften, Chemie, Biologie, Computertechnologie, Elektrotechnik und der Maschinenbau.

Die Europäische Kommission bietet die folgende Definition, die sowohl die Tatsache aus der vorhergegangenen Definition wiederholt, dass Materialien im Nanometerbereich neuartige Eigenschaften besitzen, als auch die Nanotechnologie hinsichtlich ihres Potenzials für den wirtschaftlichen Markt einordnet:

Nanotechnologie ist das Studium der Phänomene und der Feineinstellung von Materialien im atomaren, molekularen und makromolekularen Bereich, wo sich die Eigenschaften stark von denen auf größeren Skalen unterscheiden. Produkte, die auf der Nanotechnologie gründen, sind bereits im Gebrauch; Finanzexperten erwarten, dass diese Märkte in diesem Jahrzehnt um Hunderte von Milliarden Euro wachsen.

Die folgende Definition der amerikanischen National Nanotechnology Initiative fügt die Tatsache hinzu, dass die Nanotechnologie bestimmte Tätigkeiten umfasst, wie etwa das Messen und Bearbeiten von Materie im Nanometerbereich:

Nanotechnologie ist das Verständnis und die Kontrolle von Materie im Bereich zwischen etwa einem und 100 Nanometern, in dem einzigartige Phänomene neuartige Anwendungen ermöglichen. Die Nanotechnologie umfasst Wissenschaften, Ingenieurwissenschaften und Technologie auf der Nanometerskala und beinhaltet die Darstellung, Messung, Modellierung und Veränderung von Materie in diesem Größenbereich.

Die hier letzte Definition stammt von Thomas Theis, Direktor der naturwissenschaftlichen Abteilung am IBM Watson Research Center. Sie bietet eine breitere und interessante Perspektive der Rolle sowie des Wertes der Nanotechnologie in unserer Welt:

[Die Nanotechnologie] ist ein aufkommendes wirtschaftliches Geschäfts- und Gesellschaftsphänomen. Die Befürworter der Nanotechnologie behaupten, dass sie die Art revolutionieren wird, wie wir leben, arbeiten und kommunizieren.

Vor der Nanotechnologie war das Atom

Wenn Sie sich an Ihren Oberstufenunterricht erinnern, wissen Sie etwas über Atome, daher werden wir dies als Ausgangspunkt bei der Erklärung der Entwicklung der Nanotechnologie nehmen. Abbildung 1.1 zeigt die Darstellung eines Atoms, das positiv geladene Protonen und neutrale Neutronen im Kern (Mitte) des Atoms sowie negativ geladene Elektronen auf den Bahnen um den Kern enthält.

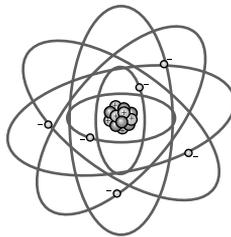


Abbildung 1.1: Einfaches Modell der Struktur eines Atoms

Das Wort *Atom* stammt von dem griechischen Wort für unteilbar, *atomos*. Die Atombombe hat gezeigt, dass Atome durchaus gespalten werden können, doch im Jahr 450 v. Chr. waren den Menschen zum Glück solche Möglichkeiten nicht bewusst. Im Jahr 1803 entdeckte John Dalton, dass Verbindungen wie Wasser in Wirklichkeit Ansammlungen von Atomen sind. Diese Gebilde, die Moleküle genannt werden, haben andere Eigenschaften als die einzelnen Atome (denken Sie an zwei Wasserstoffatome in Kombination mit einem Sauerstoffatom und das nasse Ergebnis H_2O).

Heute wissen wir, dass ein Teil von Daltons ursprünglicher Theorie des Atoms nicht wasserdicht ist. Dennoch zählen die wichtigen Konzepte, die besagen, dass chemische Reaktionen auf dem Verbinden und Trennen von Atomen beruhen und dass Atome unverwechselbare Eigenschaften besitzen, zu den Grundlagen der heutigen Physik.

Die Idee, dass sich Atome verbinden, um Moleküle wie Wasser zu bilden, ist der Schlüssel zur Chemie, Biologie und Nanotechnologie. Die Arbeit von Dalton und zahlreichen weiteren Naturwissenschaftlern hat Chemikern ermöglicht, nützliche Materialien wie etwa Plastik, aber auch zerstörerische Materialien wie Sprengstoff zu entwickeln. Alle Materialien bestehen aus Atomen; daher war es zunächst notwendig, die Atome selbst zu verstehen, um zu lernen, wie man neue Materialien herstellen kann. Naturwissenschaftler konnten aufgrund der Eigenschaften der von ihnen hergestellten Materialien Rückschlüsse auf die Atome ziehen, obwohl sie nicht in die Atome hineinschauen konnten.

Ein wichtiger und hervorzuhebender Punkt ist, dass niemand jemals die volle Struktur eines Atoms gesehen hat. Sogar die hoch entwickelten Mikroskope aus neuester Zeit offenbaren nicht die Einzelheiten der Atome, sondern zeigen nur verschwommene Bilder von winzigen Teilchen. Alle Informationen über die Struktur der Atome beruhen auf empirischen Belegen. Naturwissenschaftler bestimmten, dass jede Art von Atom unterschiedliche Lichtfrequenzen absorbiert, und verwendeten dann diese Unterschiede, um ein Modell der Struktur der Elektronen um den Kern jedes Atoms zu entwickeln. Andere Naturwissenschaftler beschossen Atome mit sehr kleinen hochenergetischen Teilchen und untersuchten, welche Art von Teilchen sich bei Zusammenstößen mit dem Atomkern bildeten, um herauszufinden, was sich innerhalb des Kerns jeder Atomart befindet. Dann entwickelten Naturwissenschaftler mithilfe der Mathematik ein Modell, um diese Ergebnisse anzupassen. Die Art, wie wir die Atome beschreiben, entwickelt sich auch heute noch weiter. Physiker beschießen Atome mit immer hochenergetischeren Teilchen, um mehr Einzelheiten über die Bestandteile des Atomkerns zu erhalten.

Doch welchen Bezug haben all diese Informationen über Atome zur Nanotechnologie? Nanopartikel (Teilchen, deren Durchmesser, Breite oder Länge zwischen einem Nanometer und 100 Nanometern liegen) sind größer als Atome, aber wie Atome jederzeit um uns herum. Sie werden durch Kerzenflammen, Holzfeuer, Dieselmotoren, Laserdrucker, Staubsauger und zahlreiche weitere Quellen abgegeben. Naturwissenschaftler arbeiteten über Jahrhunderte mit Nanopartikeln, bevor diese überhaupt als solche erkannt wurden. Doch anders als Atome – und das ist ein großer Unterschied – kann man heute die Struktur von Nanopartikeln sehen. Dieser Durchbruch erfolgte vor einigen Jahrzehnten mit dem Aufkommen der Elektronenmikroskope.

Unser Verständnis der Atomtheorie und die Möglichkeit, Dinge auf der Nanometerskala zu betrachten, erlaubt uns heute, Materie in einer Weise zu verändern wie nie zuvor.

In Kapitel 3 werden Nanopartikel und -materialien ausführlich erläutert. Kapitel 4 enthält Informationen darüber, wie diese bearbeitet werden können.

Der Weg vom Halbgebackenen zum Bakelit

Haben Sie sich jemals gefragt, was der erste vollständig von Menschen gemachte (synthetische) Stoff war? Die Antwort ist: ein auf Harz beruhendes Material, das man Bakelit nennt; dies war der erste Kunststoff. Bakelit wurde von einem Chemiker namens Leo Baekeland entwickelt. Zur Herstellung von Bakelit benötigt man Wärme und Druck, während zwei Chemikalien gemischt werden. Bakelit härtet in jeder Form aus, in die es gegossen wird. Seine einmalige Zusammensetzung führt dazu, dass man es weder verbrennen noch mit einer üblicherweise verfügbaren Säure auflösen kann. Das amerikanische Militär betrachtete Bakelit als Grundlage zur Herstellung von leichtgewichtigen Waffen. Darüber hinaus wurde Bakelit ein Bestandteil der meisten Waffen, die im Zweiten Weltkrieg verwendet wurden.

Bakelit finden Sie ebenfalls in Produkten wie elektrischen Isolatoren und Geschirr. Das Material bricht nicht, splittert nicht und bleicht nicht aus. (Okay, das klingt wie eine Dauerwerbung, aber das Material ist wirklich erstaunlich.) Heutzutage wird Bakelit größtenteils durch andere Kunststoffe ersetzt, doch zu seiner Zeit war es ein großer Durchbruch.

Sich der Nanotechnologie von oben und unten nähern

Die Frage, wie wir unser Wissen über Nanopartikel verwenden sollten, ist ausführlich diskutiert worden. Nanotechnologen kennen zwei Wege zur Herstellung von Materialien oder zur Veränderung von Bauteilen mit der Nanotechnologie, die *Top-down* und *Bottom-up* genannt werden.

Stellen Sie sich vor, Sie müssen den kleinstmöglichen Nanochip bauen. Wenn Sie die *Bottom-up-Methode* anwenden, würden Sie mit der Nanotechnologie den Chip Atom für Atom zusammenbauen, indem Sie jede Atomsorte an einen bestimmten Platz anordnen würden, um den Schaltkreis herzustellen. Bei der *Top-down-Methode* würden Sie stattdessen den Computerchip herstellen, indem Sie Material abtragen, etwa so wie ein Bildhauer bei seinem Kunstwerk, um Strukturen im Nanometermaßstab zu erzeugen. Sie würden dabei nicht mit der atomaren Ebene in Berührung kommen.

Die Top-down-Methode wird derzeit verwendet, um Computerchips und andere Produkte herzustellen, die Sie jeden Tag verwenden. Die Entwicklung der Bottom-down-Methode befindet sich erst am Anfang; das heißt, Forscher führen erste Experimente durch, um diese Methoden voranzutreiben.



Nanotechnologen arbeiten darüber hinaus zur Erzeugung von Strukturen mit Nanopartikeln mit einer Methode, die *Selbstzusammenbau* heißt und die in Kapitel 4 erläutert wird. Selbstzusammenbau beinhaltet die Erzeugung von Bedingungen, unter denen sich Atome und Moleküle auf eine bestimmte Weise selbst anordnen, um ein Material zu erzeugen. Manche betrachten das ebenfalls als Bottom-down-Ansatz.

Vier Generationen der Entwicklung der Nanotechnologie

Mihail (Mike) Roco von der Nanotechnology Initiative sagte vorher, dass die Entwicklung der Nanotechnologie in vier Generationen erfolgt. Nach Roco sind wir derzeit in einer Ära der passiven Nanostrukturen, die er als Materialien bezeichnet, die zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe entwickelt wurden. In der zweiten Phase, in die wir bereits eingetreten sind, verwenden wir »aktive Nanostrukturen in Mehrprozessschritten«. Diese Nanostrukturen schließen Elemente zur zielgerichteten Gabe von Medikamenten ein. Die dritte Generation betrifft Nanosysteme, die Tausende von miteinander wechselwirkende Komponenten umfassen können. In Zukunft gibt es möglicherweise integrierte und verschachtelte Nanosysteme, die viel mehr können, als heute denkbar ist, wie etwa eine hoch entwickelte molekulare Herstellung von Genen innerhalb der DNA von bestimmten Zellen oder Nanooperationen zur Heilung von Wunden auf zellulärer Ebene.

Verstehen, wie die Nanotechnologie die Dinge verändert

Bisher haben wir dargelegt, dass Materialien im Nanometerbereich andere Eigenschaften als entsprechende makroskopische Körper aufweisen. Das ist ein grundlegender Gedanke, der eine weiterführende Erklärung verdient.

Nanopartikel sind so klein, dass sie nur wenige oder wenige Tausend Atome enthalten. Im Gegensatz dazu können die entsprechenden makroskopischen Körper viele Milliarden Atome enthalten. Dieser Unterschied ist der Grund für die einzigartigen Eigenschaften der Nanomaterialien, wozu unter anderem ihre Wechselwirkung mit anderen Materialien, ihre Farbe und ihr Schmelzverhalten bei hohen Temperaturen gehört.

Im folgenden Abschnitt erläutern wir diese Unterschiede und helfen Ihnen, die Änderungen zu verstehen, die sie ermöglichen.

Reaktionen mit anderen Elementen

Ein Aspekt bei der Untersuchung des andersartigen Verhaltens von Teilchen im Nanometerbereich betrifft ihr Verhalten in chemischen Reaktionen. Eines der interessantesten Beispiele ist hierbei Gold.

Gold wird als inaktives Material betrachtet, das nicht rostet oder anläuft (deshalb haben Sie für den Ring an Ihrem Finger so viel bezahlt). Normalerweise wäre es albern, Gold als aktiven Katalysator für chemische Reaktionen zu benutzen, da es nur extrem schwach reagiert. Wenn Gold jedoch in der Form von Teilchen im Nanometerbereich (ungefähr fünf Nanometer) vorliegt, kann man es unter anderem als Oxidationskatalysator für Kohlenmonoxid verwenden.

Diese Umwandlung läuft wie folgt ab. Je kleiner die Nanoteilchen sind, desto größer ist der Anteil an Oberflächenatomen und desto größer ist die Anzahl der Atome an den Kanten des Kristalls. In einem makroskopischen Körper ist jedes Goldatom (bis auf den geringen Prozentsatz an der Oberfläche) von zwölf anderen Goldatomen umgeben; nur die Atome an der Oberfläche haben sechs benachbarte Atome. In einem Gold-Nanoteilchen befindet sich dagegen ein wesentlich größerer Anteil an Goldatomen an der Oberfläche. Da Gold, wie in Abbildung 1.2 gezeigt, kristalline Strukturen bildet, sind die Goldatome an den Ecken des Kristalls von weniger Goldatomen umgeben als die an der Oberfläche des entsprechenden Körpers. Die freiliegenden Atome an den Ecken sind reaktiver als die im Festkörper, wodurch es Gold-Nanoteilchen möglich ist, Reaktionen zu beschleunigen.

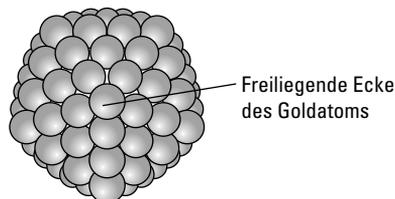


Abbildung 1.2: Ein Nanopartikel aus Gold

Die Farbe ändern/Veränderliche Farbe

Es hat sich gezeigt, dass die Fähigkeit von Gold, Reaktionen zu beschleunigen, nicht das Einzige ist, was sich im Nanometerbereich ändert. Auch die Farbe des Golds kann sich in Abhängigkeit von der Größe der Partikel verändern.

Eines der Kennzeichen von Metallen besteht darin, dass sie glänzen, da das Licht an ihrer Oberfläche reflektiert wird. Die Reflexion hängt mit den Elektronenwolken auf der Oberfläche des Metalls zusammen. Da die Photonen, aus denen das sichtbare Licht besteht, diese Wolken nicht durchqueren können und auch nicht von den an die Atome in Metallen gebundenen Elektronen absorbiert werden, werden die Photonen reflektiert, und Ihr Auge nimmt den Glanz eines Schmuckstücks wahr.

Zusätzlich zu diesem Glanz haben Metalle unterschiedliche Farben, da manche Farben stärker reflektiert werden als andere. Gold und Kupfer haben beispielsweise bei kürzeren Wellenlängen (blaues Licht) ein geringeres Reflexionsvermögen (Reflektivität) als bei längeren Wellenlängen (gelbes, grünes und rotes Licht), was den goldenen Farbton verursacht. Silber hat über die verschiedenen Wellenlängen eine eher konstante Reflektivität, sodass alle Farben in etwa gleich reflektiert werden und ein weiß-silbriger Eindruck entsteht. In Festkörperform reflektiert Gold Licht. Im Nanometerbereich schwingt die Elektronenwolke an der Oberfläche eines Gold-Nanoteilchens in Resonanz mit unterschiedlichen Wellenlängen, die von der Frequenz des Lichts abhängen. In Abhängigkeit von der Größe des Nanoteilchens kann die Elektronenwolke mit einer bestimmten Wellenlänge in Resonanz kommen und diese absorbieren. Ein Nanoteilchen mit einer Größe von 90 Nanometern wird Farben am roten und gelben Ende des Farbspektrums absorbieren, sodass das Nanoteilchen blaugrün erscheint. Ein kleineres Teilchen von etwa 30 Nanometern absorbiert Blau und Grün, sodass es rötlich aussieht. Ohne zu wissen, dass Nanopartikel existieren, machten sich dies bereits im Mittelalter Glasmacher zunutze. Bei der Herstellung von Kirchenfenstern wurde etwas Gold zugesetzt, wodurch sich das Glas rot färbte. Nanotechnologen erörtern die mögliche Nutzung dieses farbverändernden Merkmals, um für zum Beispiel den medizinischen Bereich Sensoren zu bauen.

Bei niedrigeren Temperaturen schmelzen/Niedriger Schmelzpunkt

Eine weitere Eigenschaft, die sich im Nanometerbereich ändert, ist die Schmelztemperatur eines Materials. Betrachtet man einen Festkörper aus einem bestimmten Material wie etwa Gold, so besitzt er einen bestimmten Schmelzpunkt, unabhängig davon, ob man einen kleinen Ring schmilzt oder einen Goldbarren. Wenn man jedoch zur Nanometerskala übergeht, beginnt sich die Schmelztemperatur um Hunderte von Grad zu ändern.



Nanoteilchen aus Gold schmelzen bei relativ niedrigen Temperaturen ($\approx 300^\circ\text{C}$ bei einer Größe von 2,5 Nanometern), während eine Goldplatte erst bei schon ziemlich heißen 1064°C schmilzt.

Die Schmelztemperatur hängt mit der Anzahl der Atome und Ecken des Gold-Nanoteilchens zusammen. Wenn eine größere Anzahl von Atomen freiliegt, können durch die Wärme mehr Bindungen zu den benachbarten Atomen aufgebrochen werden. Je kleiner das Teilchen ist, desto niedriger ist sein Schmelzpunkt.

Nano ist überall

Die Nanotechnologie wird manchmal als eine Allzwecktechnologie bezeichnet, da sie in ihrer weiterentwickelten Phase erhebliche Auswirkungen auf fast alle Industriezweige und Gesellschaftsbereiche haben wird.

Anders als andere naturwissenschaftliche Bereiche, mit denen Sie vielleicht vertraut sind, besitzt die Nanotechnologie eine sehr große Bandbreite. Sie bezieht Informationen aus der Physik, der Chemie, den Ingenieurwissenschaften und der Biologie mit ein, um Materialien im Nanometermaßstab zu untersuchen und eine Vielzahl von Ergebnissen zu erzielen.

Die Möglichkeit, winzige Objekte zu sehen und mit ihnen zu arbeiten, hat gewaltige Auswirkungen auf die verschiedensten Forschungsbereiche, auch außerhalb der Physik. In diesem Abschnitt erhalten Sie eine Vorstellung von den Anwendungen und zukünftigen Änderungen, die durch die Nanotechnologie möglich werden.

Nanotechnologie in unterschiedlichen Feldern

Die Nanotechnologie kann auf unterschiedlichen Gebieten und in unterschiedlichen Zusammenhängen angewendet werden. Sie betrifft Industrien und erlaubt Fortschritte in Bereichen wie der Herstellung von Waren, der Medizin, der Raumfahrt, der Energie und der Umwelt. Die Methoden, die zur Erzeugung und Handhabung von Teilchen im Nanometerbereich entwickelt wurden, lassen auch auf die Heilung von Krankheiten wie Krebs, die Reinigung unserer Luft und die Erzeugung von preiswerter Energie hoffen.

Denken Sie an andere naturwissenschaftliche Disziplinen. Medizin bezieht sich auf das Gesundheitswesen; die Astronomie verschwindet in den Sternen; die Zoologen beschäftigen sich mit Tieren. Aber die Nanotechnologie ist nicht nur auf ein einziges Thema fokussiert; in dieser Hinsicht hat sie mehr Ähnlichkeit mit der Physik oder Chemie, naturwissenschaftlichen Disziplinen, deren Erkenntnisse in vielen Bereichen, Industrien und anderen naturwissenschaftlichen Fächern verwendet werden können.

In Deutschland wird die Nanotechnologie zum Beispiel durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert, wobei sie vom Verein Deutscher Ingenieure (VDI) unterstützt wird. Aber auch die Gesundheits-, Umwelt- und Wirtschaftsministerien beteiligen sich an verschiedenen Programmen.

Die Nanotechnologie wird außerdem in vielen kommerziellen Bereichen angewendet; über viele dieser Gebiete werden Sie in den folgenden Kapiteln weitere Einzelheiten erfahren. So werden Nanomaterialien beispielsweise zu folgenden Zwecken verwendet:

- ✓ Sie verleihen Materialien eine größere Festigkeit. Zum Beispiel bei der Produktion von Tennisschlägern oder Windrädern.
- ✓ Sie wirken bei der chemischen Fertigung als Katalysatoren.
- ✓ Sie helfen bei der Aufnahme von Medikamenten in den Körper.
- ✓ Sie sorgen bei Bekleidungs-Fasern (die zur Herstellung von Kleidung verwendet werden) für eine bessere Widerstandskraft gegenüber Flecken.

- ✓ Sie verbessern Verfahren zur medizinischen Bildgebung, wie zum Beispiel der Magnetresonanztomografie.
- ✓ Sie verbessern die Effizienz von Energiequellen wie Batterien und Brennstoffzellen.
- ✓ Sie hilft bei der Säuberung von Trinkwasser und der Reinigung unserer Luft.

Es können sogar Nanokeramiken in Ihrem Zahnimplantat vorhanden sein. Deren Eigenschaften können so angepasst werden, dass sie mit den Eigenschaften des umgebenden Gewebes übereinstimmen. Und fast jedes elektronische Gerät, das Sie besitzen, enthält verschiedene Arten von *Nanomaterialien*, insbesondere in den Chips, die in Computerbauelementen verwendet werden.



Abbildung 1.3: Webseite der Nationalen Kontaktstelle Nanotechnologie

Tipps von Arbeitsgruppen

Wenn Sie herausfinden wollen, ob ein Gebiet verschiedene Disziplinen betrifft, überprüfen Sie die Angebote der Universitäten zu diesem Thema. Sie werden feststellen, dass Nanotechnologie hochgradig interdisziplinär (Abbildung 1.4) ist und dass viele Arbeitsgruppen Studenten aus verschiedenen Disziplinen akzeptieren.

Mahbub Uddin und Raj Chodhury schreiben in einem Beitrag zu einer Konferenz über die Ausbildung in der Nanotechnologie: »Nanotechnologie ist Interdisziplinarität in Reinkultur. Wesentlich ist ein Lehrplan, der sowohl ein breites Verständnis der beteiligten Grundlagenwissenschaften als auch angewandter Gebiete wie die Ingenieurwissenschaften und die Informationswissenschaften beinhaltet«.

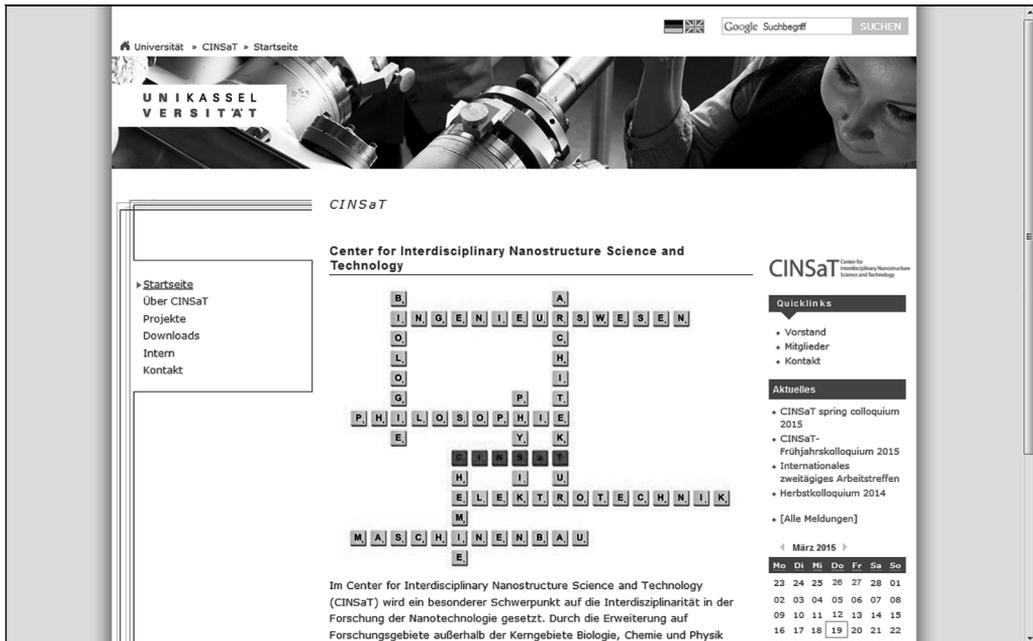


Abbildung 1.4: Die Webseite des CINSaTs an der Universität Kassel



Wenn Sie diesen Artikel vollständig lesen wollen: Sie finden ihn unter www.actionbioscience.org/education/uddin_chowdhury.html.

Die Lehrpläne der Technischen Universität München, der Universität Kassel und weiterer Hochschulen erfüllen diese Forderung nach Interdisziplinarität. Sie betreffen Studenten in Fächern wie Biologie, Chemie, Physik, die Ingenieurwissenschaften und viele weitere.

Aus diesen Beispielen geht hervor, dass die Vorbereitung von Studenten auf eine Laufbahn in der Nanotechnologie sowohl die Vermittlung von Kenntnissen in der Nanotechnologie als auch auf einem weiteren Gebiet ihrer Wahl enthalten kann.