

Peptide als antigenes Material reduziert die Gefahr einer unbeabsichtigten Infektion, wie es in der Vergangenheit durch die Verwendung von ganzen Viren als Impfstoff auftreten konnte.

Da viele Viren häufigen Mutationen unterliegen, ist die Herstellung von Impfstoffen auf der Basis vollständiger viraler Proteine oft unmöglich. Zukünftiges Ziel ist daher die Identifizierung von konservierten Peptid-Sequenzen, um einen Impfstoff zu entwickeln, der alle viralen Stämme effektiv bekämpft. Neben ihrer Anwendung bei bakteriellen, viralen und parasitären Infektionen werden erste Versuche beschrieben, die solche Peptid-Impfstoffe auch gegen Autoimmunerkrankungen und Krebs einsetzen.

Weitere gentechnische Manipulationen werden in den Kapiteln 10–15 behandelt. Unter anderem wird die Rolle der Gentechnik in der Stammzellbiologie und der Zellersatztherapie sowie in der Pflanzen- und Lebensmittelbiotechnologie, z.B. zur Verbesserung von Wachstum, Struktur und Resistenz gegen Pathogene, verdeutlicht. Es handelt sich um rein wissenschaftlich gehaltene Abhandlungen, die bisweilen mit Übersichten über die historische und ökonomische Entwicklung insbesondere im Bereich der Lebensmittelindustrie gekoppelt sind.

Das Buch schließt mit einem mathematisch gehaltenen Kapitel über Populationsdynamik. Martin Nowak und Karl Sigmund vergleichen evolutionäre und klassische Spieltheorien mit der Verhaltensdynamik großer Populationen, z.B. bei der viralen Mutagenese, umweltbedingten Anpassungsprozessen und der Verbreitung von Epidemien. Einfach und verständlich machen die Autoren den Leser mit der theoretischen Biologie vertraut und diskutieren deren Rolle in der Voraussage von Krankheiten und biologischen Funktionen.

Die in diesem Buch präsentierten Schwerpunktthemen werden die Life Sciences des 21. Jahrhundert sicher prägen, auch wenn die Auswahl längst nicht komplett ist. Das Buch liefert dem Leser einfache Erklärungen für molekulare Prozesse und neuere Technologien und diskutiert, wie künftige Entwicklungen unsere Auffassungen über die Entstehung von Leben und

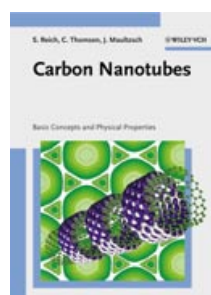
Krankheiten verändern werden. Insbesondere hebt es die ungeahnten Chancen der Gentechnik zur Verbesserung menschlicher Lebensbedingungen hervor. Mit der Möglichkeit zur Herstellung von genetisch veränderten Zellen, Impfstoffen oder auch Lebensmitteln rückt die reine Wissenschaft in den Blickpunkt ökonomischer Interessen. Das Buch ist nur spärlich bebildert und erscheint im ersten Augenschein wenig attraktiv, ist aber gut strukturiert. Die meisten Kapitel sind leicht lesbar und richten sich an ein breites naturwissenschaftlich interessiertes Leserspektrum. Einige Aufsätze wirken allerdings detailüberladen (z. B. gleich das Kapitel 1).

Wer sich ohne spezielle Fachkenntnisse einen raschen Überblick über die interessantesten Forschungsschwerpunkte der Life Sciences verschaffen möchte, dem ist mit vorliegendem Buch zweifelsohne gut gedient

Ute Schepers

Kekulé-Institut für Organische Chemie und Biochemie  
Universität Bonn

## Carbon Nanotubes



Basic Concepts and Physical Properties. Von Stefanie Reich, Christian Thomsen und Janina Maultzsch. Wiley-VCH, Weinheim 2004. IX + 215 S., geb., 99.00 €. — ISBN 3-527-40386-8

Mit den Fortschritten auf dem Gebiet der Kohlenstoffnanoröhren im letzten Jahrzehnt wuchs auch der Bedarf an einer umfassenden Übersicht zum Thema, die sich sowohl als einführender Text für den Einsteiger wie auch als Nachschlagewerk für den aktiven Forscher nutzen lässt. Das vorliegende Buch ist in dieser Hinsicht hoch will-

kommen und hat das Zeug, zu einem Klassiker für das Gebiet zu werden.

Kapitel 1 behandelt die Struktur von Kohlenstoffnanoröhren und deren Symmetrie. Die Autoren erläutern, wie aufbauend auf einem gegebenen chiralen Vektor die Struktur und das reziproke Gitter einer Kohlenstoffnanoröhre konstruiert werden können. Experimentelle Techniken zur stereochemischen Charakterisierung der Röhren, wie Elektronenmikroskopie, Elektronenbeugung und Rastersondenmikroskopie, werden eingehend beschrieben. Die Liniengruppensymmetrie einwandiger Kohlenstoffnanoröhren wird entwickelt, und es wird demonstriert, dass jeder Zustand eines (Quasi-)Teilchens durch einen Satz von Quantenzahlen – bestehend aus der Linearimpulsquantenzahl  $k$ , der Drehimpulsquantenzahl  $m$  und, nur an bestimmten Punkten in der Brillouin-Zone, Paritätsquantenzahlen – charakterisiert werden kann. Es wird gezeigt, dass achirale Nanoröhren zusätzliche vertikale und horizontale Spiegelebenen aufweisen. Die Anwendung dieser Liniengruppensymmetrie ermöglicht die Herleitung von Auswahlregeln. Im letzten Abschnitt dieses Kapitels gehen die Autoren auf die Infrarot- und Raman-aktiven Phononenmoden ein und leiten die Auslenkungsmuster Raman-aktiver Phononen von Armchair- und Zigzag-Röhren her.

In Kapitel 2 wird zunächst die Bandstruktur von Kohlenstoffnanoröhren aus der Bandstruktur von Graphen mithilfe der Zone-Field-Näherung, d.h. unter Verwendung der Elektronenenergien des Graphens entlang der erlaubten  $k$ -Vektoren, hergeleitet. Die Elektronenverteilung in den  $\pi$  Banden von Graphen wird wiederum durch Tight-Binding-Ansätze berechnet. Die elektronischen Zustandsdichten in einwandigen Kohlenstoffnanoröhren zeigen die typischen Merkmale eines eindimensionalen Systems mit Singularitäten gemäß  $1/\sqrt{E}$ . Während Armchair-Nanoröhren ihren metallischen Charakter beibehalten, entwickeln andere Nanoröhren, etwa solche mit ganzzahligem Wert für  $(n_1 - n_2)/3$ , eine kleine Bandlücke in der Größenordnung von 10 meV. Weiter wird gezeigt, dass in den aufgerollten Nanoröhren die höherliegenden Zustände zum Fermi-Niveau hin verschoben sind. Schließlich wird die Aggregati-

on von Nanoröhren zu Bündeln diskutiert, wobei der vermutlich auffälligste Effekt eine signifikante Veränderung der Bandstruktur ist.

Im nächsten Kapitel folgt eine umfassende Beschreibung optischer Experimente. Ein Vergleich von Absorptions- und Emissionseigenschaften ermöglicht die Verifizierung von Bandstrukturrechnungen. Besonders interessant ist der Abschnitt über die starke Lumineszenz beim Auflösen von Nanoröhrenbündeln. Der erste angeregte Zustand der so erhaltenen einzelnen Nanoröhren hat eine um eine Größenordnung höhere Lebensdauer als in den Bündeln. Dies eröffnet Möglichkeiten für eine Anwendung isolierter Nanoröhren als Lichtquellen.

Transporteigenschaften in einwandigen Kohlenstoffnanoröhren werden im Kapitel 5 behandelt. In Armchair-Röhren wurde eine ballistische Leitung über Strecken von 0.1 bis 1  $\mu\text{m}$  beobachtet. In halbleitenden Röhren scheint die mittlere freie Weglänge für die elastische Streuung dagegen kürzer zu sein; üblich ist hier ein quasi-ballistischer Transport über Strecken von ca. 100 nm. Der Widerstand der Nanoröhren hängt linear von der entlang der Röhre angelegten Spannung ab, und die Beschleunigung von Elektronen auf höhere Energien bewirkt eine emissive Relaxation. Es wird anschaulich dargestellt, dass in Tieftemperaturexperimenten eine Coulomb-Blockade auftritt. In diesem Zusammenhang weisen die Autoren darauf hin, dass ein Tunneln in die Nanoröhren hinein erst dann möglich ist, wenn zusätzliche Energie zur Überwindung der Aufladungsenergie zur Verfügung steht.

Zur Beschreibung der elastischen und Schwingungseigenschaften werden die Kohlenstoffnanoröhren näherungsweise als hohle Graphen-Zylinder mit endlichen Wandstärken und geschlosse-

nen Enden betrachtet. Erwartungsgemäß wird beobachtet, dass der Linear- $\mu\text{m}$  in Radialrichtung zwei- bis dreimal größer ist als in Axialrichtung. Unterschiedliche Druckabhängigkeiten der axialen, radialen und Raman-aktiven Schwingungen werden anhand von Phononen-Eigenvektoren mit gemischten Eigenschaften in chiralen Nanoröhren erklärt. Auch die entarteten *E*-Eigenvektoren, die ein „Wobbling“ der Auslenkungsrichtung entlang des Zylinderumlaufs zeigen, werden behandelt. Betrachtungen zu mikromechanischen Anwendungen von Nanoröhren, basierend auf deren elastischen Eigenschaften, schließen das Kapitel ab.

Die Raman-Streuung und die zugehörigen Auswahlregeln sind Gegenstand des 7. Kapitels. Es wird erläutert, wie die Symmetrie der Raman-Moden nichtausgerichteter Proben durch Messungen mit linear und zirkular polarisiertem Licht bestimmt werden kann. Insbesondere wird auf die Doppelresonanz eingegangen, die im Raman-Spektrum von Kohlenstoffnanoröhren intensiver auftritt als in Spektren anderer Feststoffe. Mithilfe der Doppelresonanz lassen sich viele Phänomene in Raman-Spektren quantitativ und qualitativ erklären.

Das letzte Kapitel befasst sich mit den Schwingungseigenschaften von Kohlenstoffnanoröhren. Es wird knapp erläutert, was aus dem Raman-Spektrum einer Nanoröhre abgeleitet werden kann und was nicht. Von zentraler Bedeutung sind die radiale Atmungsschwingung und das Doppelsignalmuster unterhalb 1600  $\text{cm}^{-1}$ , die beide die Existenz von Nanoröhren in einer Probe belegen (wobei aber die radiale Atmungsschwingung allein kein hinreichender Beleg ist). Es wird gezeigt, wie die Orientierung isolierter Röhren oder gebündelter Proben anhand des Raman-Signals bestimmt

werden kann. Das Signal ist am stärksten, wenn das einfallende Licht parallel zur Nanoröhrenachse polarisiert ist. Die Frequenz der radialen Atmungsschwingung kann zur ungefähren Bestimmung des Röhrendurchmessers herangezogen werden. Eine Zuordnung der Indices ( $n_1$ ,  $n_2$ ) allein auf der Basis von Raman-Daten ist wegen der Ungenauigkeit des Durchmessers allerdings nicht möglich. Hingegen können die Defektkonzentrationen aus dem Verhältnis der Intensitäten der D- und D\*-Signale abgeleitet werden. Während das breite Signal bei ungefähr 1540  $\text{cm}^{-1}$  ein zuverlässiger Indikator für metallische Nanoröhren ist, bleibt die Identifizierung von Halbleiter-Nanoröhren noch umstritten. Die mechanische Spannung von Nanoröhren kann – bei festgelegter Anregungsenergie – anhand der Verschiebung der Phononenfrequenz, die auf einer Änderung von Bindungslängen und/oder Bindungswinkeln beruht, ermittelt werden.

Insgesamt bietet das Buch eine solide und umfassende Darstellung der grundlegenden Konzepte und physikalischen Eigenschaften von Kohlenstoffnanoröhren. Die einzelnen Kapitel beginnen jeweils mit einer hervorragenden Einführung in das betreffende Thema und lassen sich sowohl als einführende Texte für Studierende wie auch als detaillierte Übersicht für den aktiv Forschenden nutzen. Es ist auf diesem Gebiet tätigen Physikern und Physikochemikern und allen, die sich für Nanowissenschaften interessieren, zu empfehlen.

Dirk M. Guldi

Institut für Physikalische Chemie  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen

DOI: 10.1002/ange.200385171