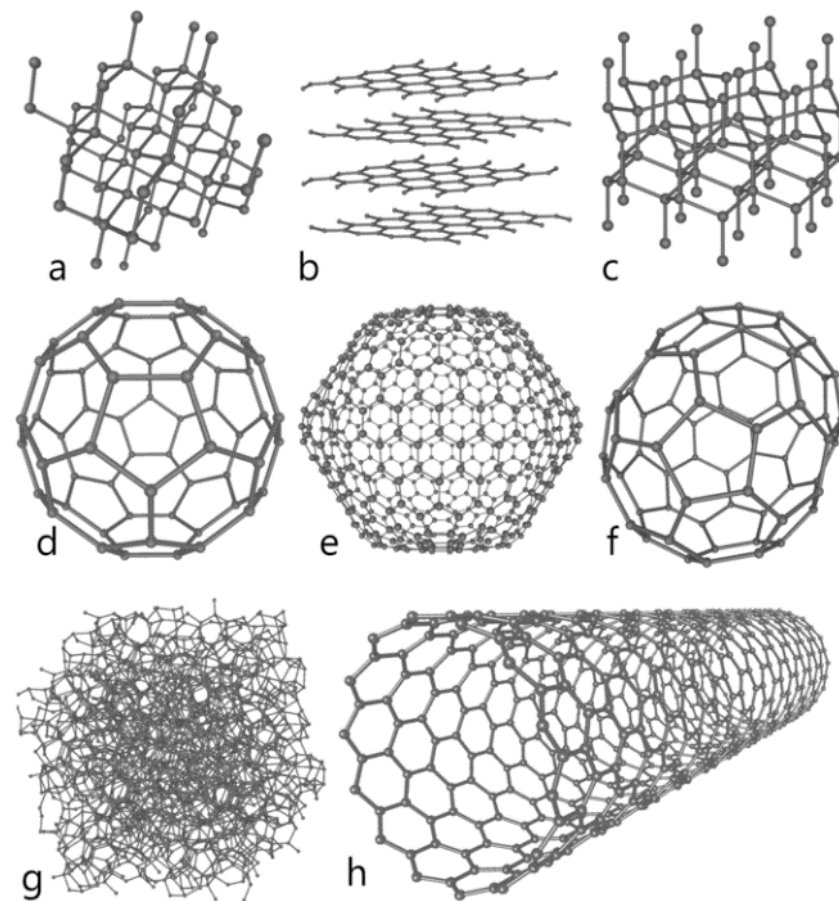
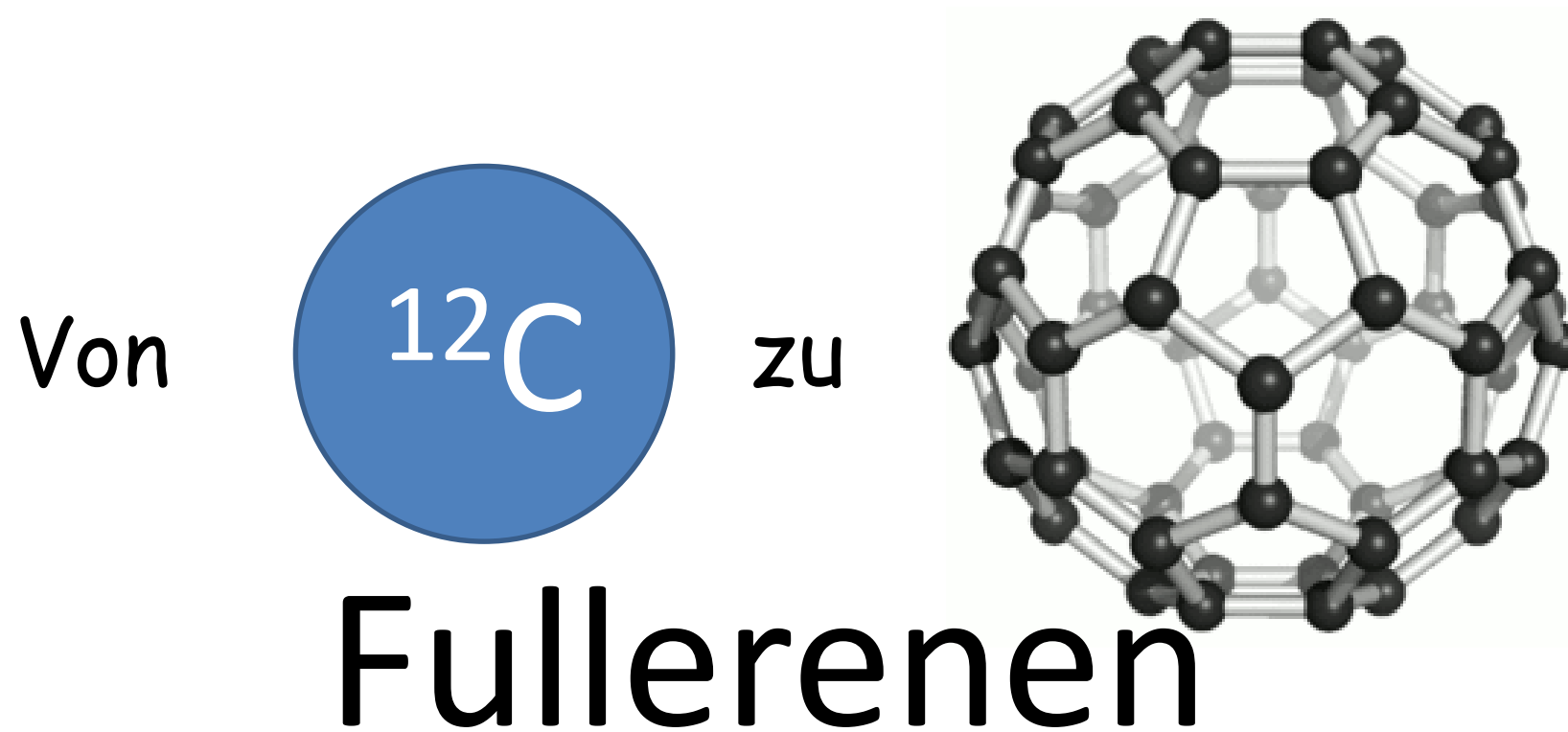


KOHLENSTOFF-ALLOTROPE: FULLERENE UND NANORÖHRCHEN

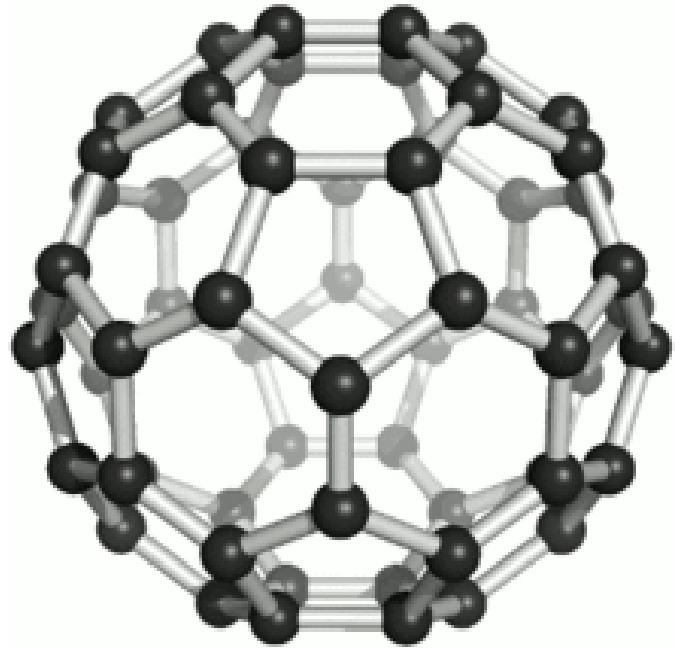
WeMakers-Team der
Valahia University of Targoviste, RUMÄNIEN



Karbonbasierte Nanomaterialien



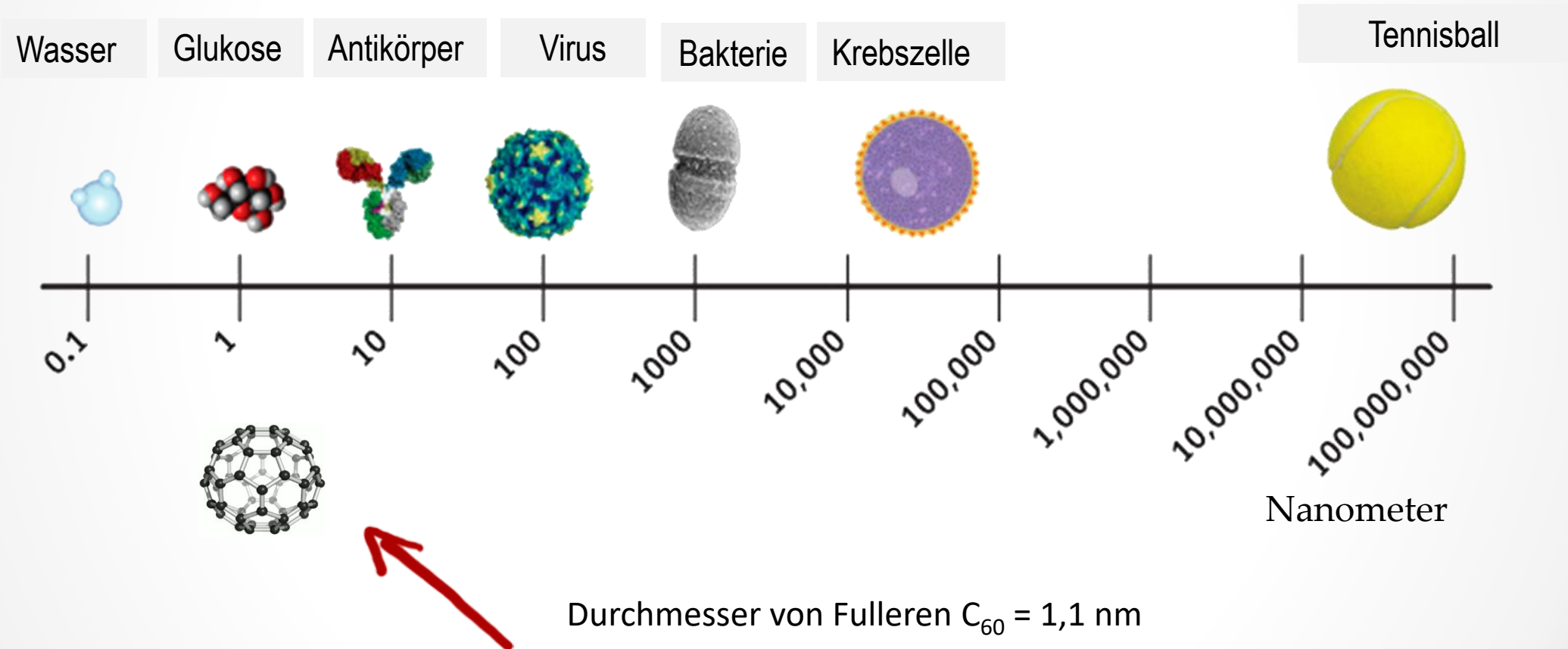
Was sind Fullerene?



- Molekulare Verbindungen aus Kohlenstoff, einer allotropen Form von Kohlenstoff, die wie ein Fußball aussieht.

Größenordnung von Fullerenen

Fullerene sind ziemlich kleine Moleküle. In der Größe wäre Fulleren C₆₀ etwas größer als Glucose und etwas kleiner als ein Antikörper.



Geschichte der Fullerene

Die Entdeckung von Fullerenen war zufällig. Drei Wissenschaftler, Robert Curl, Harry Kroto und Richard Smalley, haben 1985 mit dem Laser auf Graphit gewirkt. In erhaltenem Material wurden laut Analysen Fullerene entdeckt. 1996 haben diese drei Wissenschaftler für diese Entdeckung den Nobelpreis erhalten.



Die erste Forschung zu Fullerenen

Obwohl 1985 die Fullerene entdeckt wurden, begann die verwandte Forschung in den 1970er Jahren viel früher.

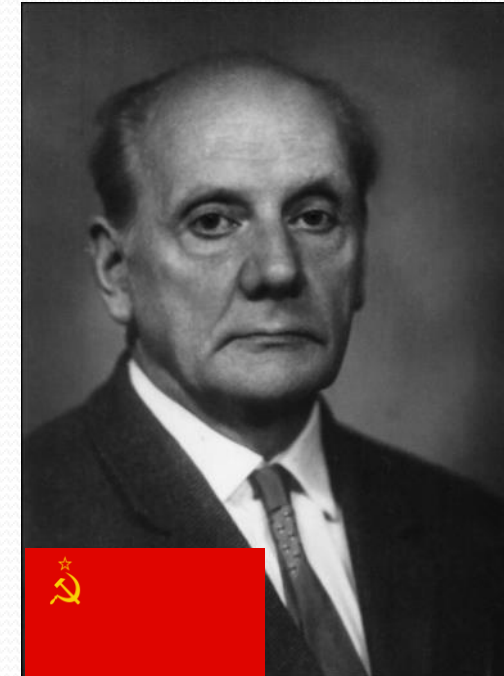
E. Osawa

1971 – Vorhersage des Auftretens von Fullerenen



D.A. Bochvar

1973 – mathematisches Modell von Fullerenen



Woher kommt der Name Fulleren?



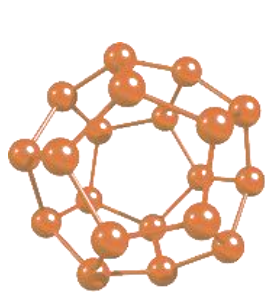
Richard Buckminster "Bucky" Fuller

Amerikanischer Architekt, Systemtheoretiker, Autor, Designer, Erfinder und Futurist, der an futuristische kugelförmigen Projekten gearbeitet hat. Zu Ehren von Fuller wurden diese Moleküle Fullerene genannt.

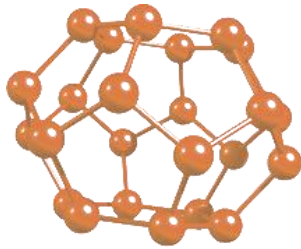


Arten von Fullerenen

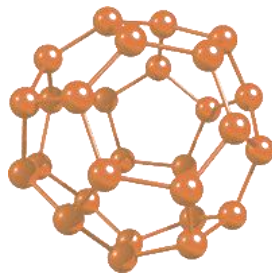
Zur Zeit kennen wir verschiedene Arten von Fullerenen. Einige haben 20 Kohlenstoffatome im Molekül, während andere bis zu 540 Atome erreichen!



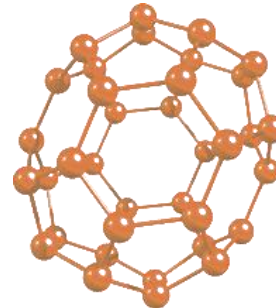
C₂₀



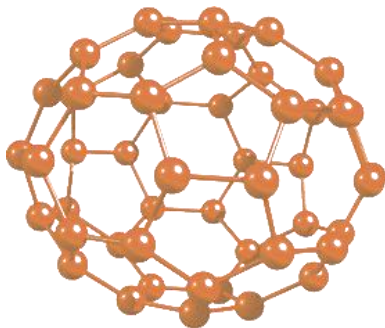
C₂₄



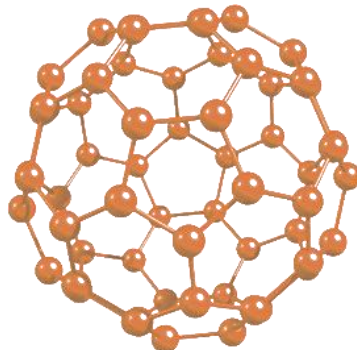
C₂₈



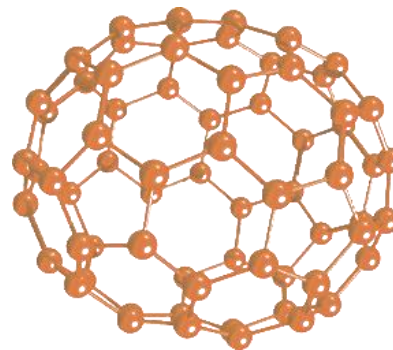
C₃₆



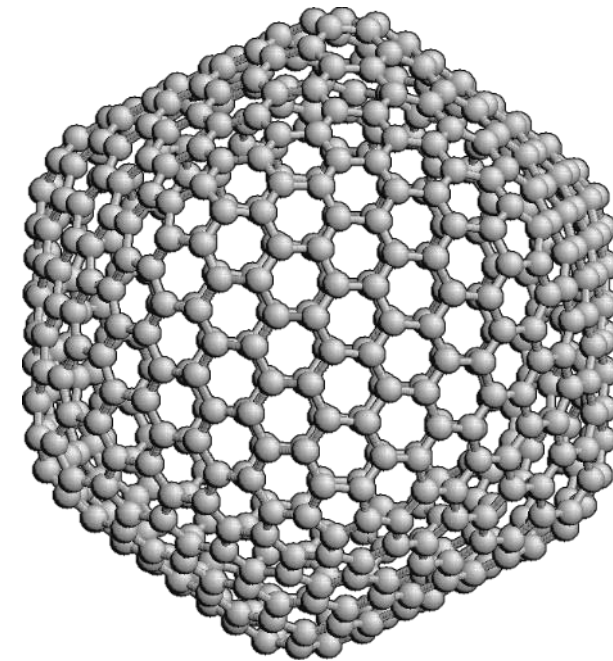
C₅₀



C₆₀

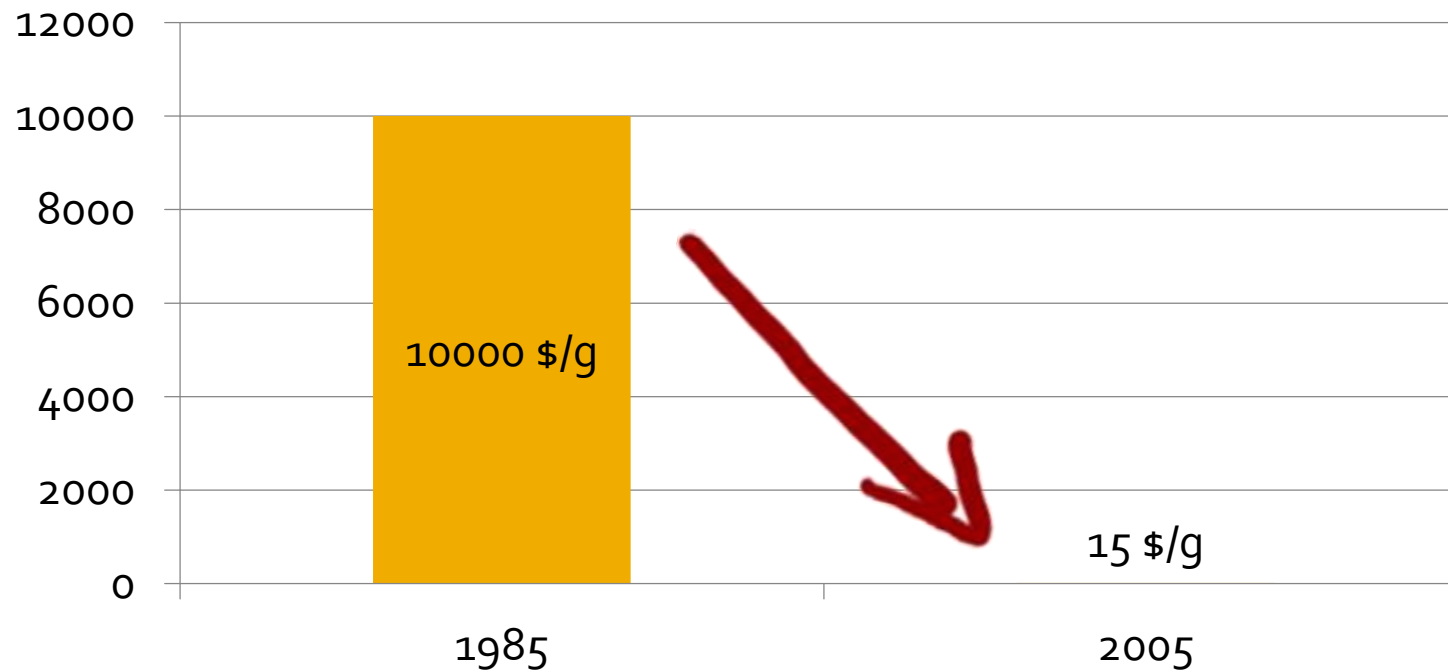


C₇₀



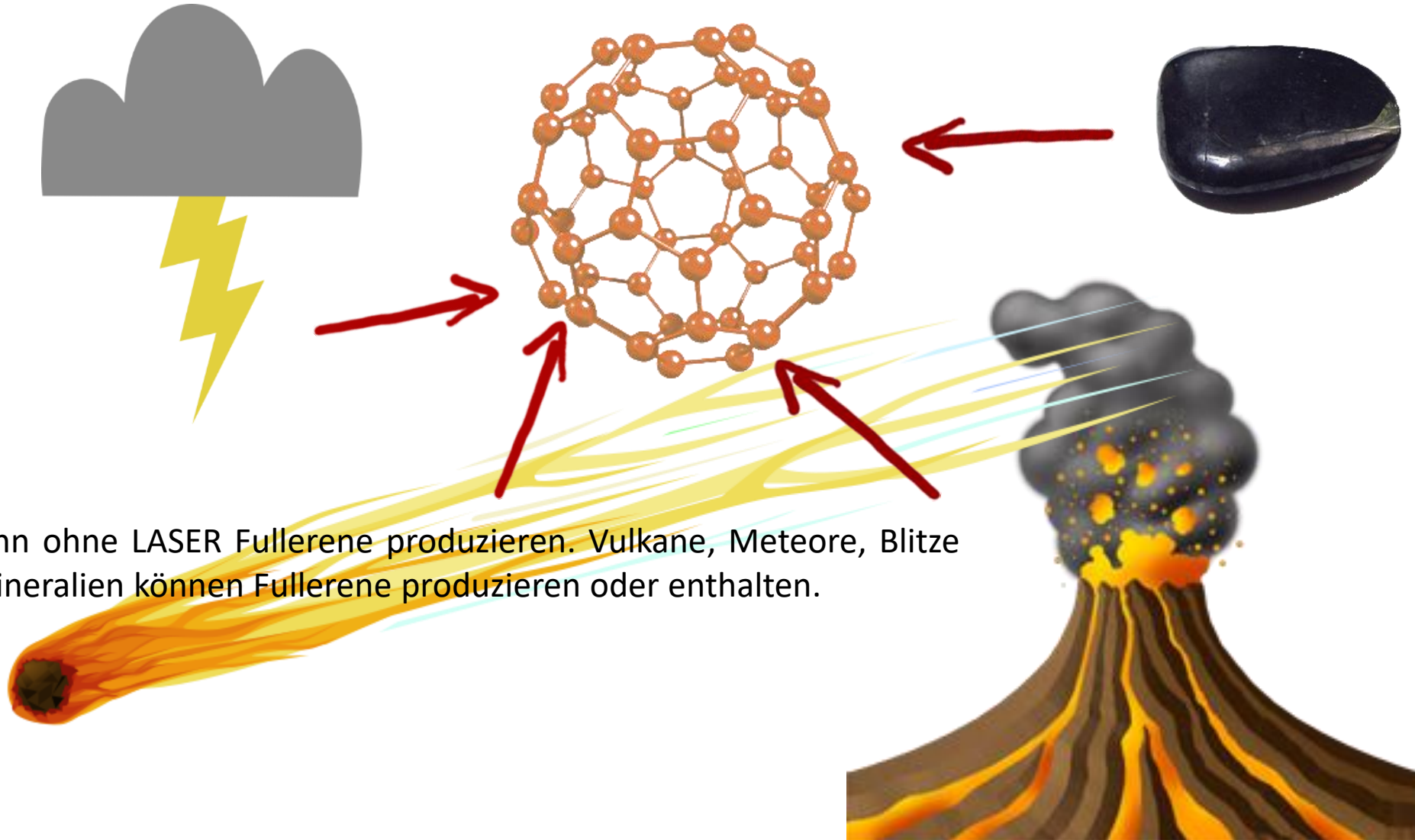
C₅₄₀

Die Kosten für Fullerene



Als dann zum ersten Mal Fullerene entdeckt wurden, betrugen die Kosten für ein Gramm dieser Verbindungen 10.000 USD, während im Jahr 2005 aufgrund der Verbesserung der Methoden zur Gewinnung die Kosten auf 15 USD pro Gramm gesenkt wurden.

Fullerene in der Natur

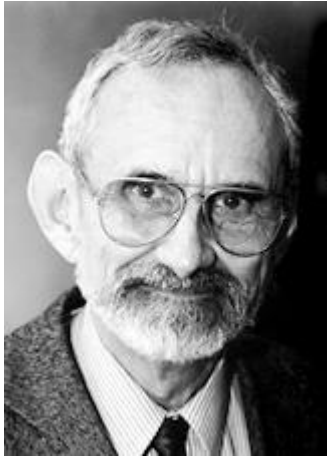


Die Natur kann ohne LASER Fullereine produzieren. Vulkane, Meteore, Blitze und einige Mineralien können Fullereine produzieren oder enthalten.

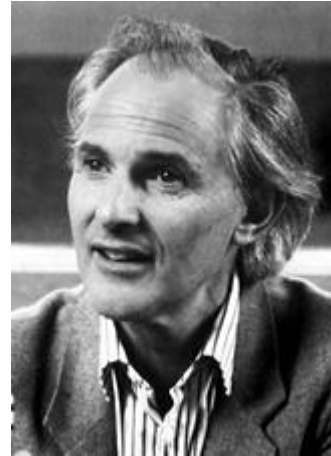
Synthese von Fullerenen

LASER-Verdampfung von Graphit

1985



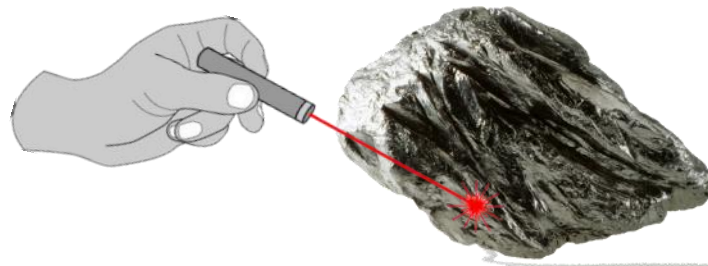
Robert Curl



Harry Kroto



Richard Smalley

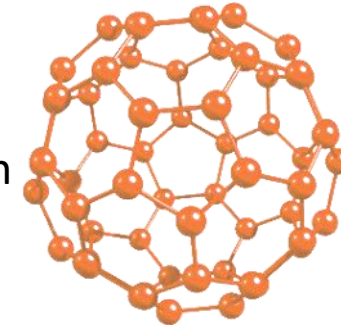


LASER

Graphit



Spuren von



C60

Die erste Fullersynthesemethode basiert auf der LASER-Wirkung auf Graphit. Das Ergebnis war nicht sehr gut, da es nur Spuren von Fullerenen produziert.

Thermische Verdampfung von Graphit

1990



Wolfgang
Krätschmer



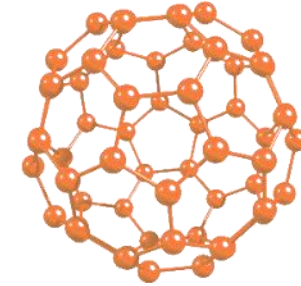
Lowell D. Lamb



Konstantinos
Fostiropoulos



Donald Huffman



3-12 %

Helium
Atmosphäre

Graphit

1800 – 4800 °C

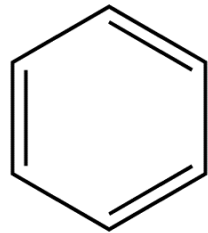
In den 1990er Jahren fand ein Forscherteam unter der Leitung von W. Krätschmer und D. Huffman eine bessere Methode für die Fullersynthese. Sie versetzten Graphit in eine Heliumatmosphäre und führten zu hohen Temperaturen dieses Materials unter Verwendung von Elektrizität. 3-12% des gebildeten Rußes enthalten Fullerene.

Verbrennung und Pyrolyse von kohlenstoffhaltigen Verbindungen

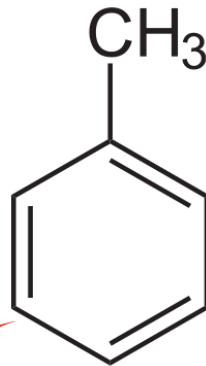
1999



Eiji Osawa



Benzene

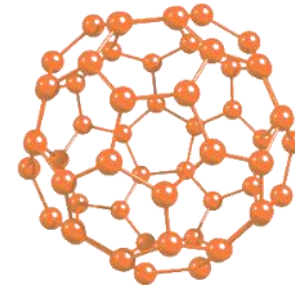


Toluene



Acetilene

6 %



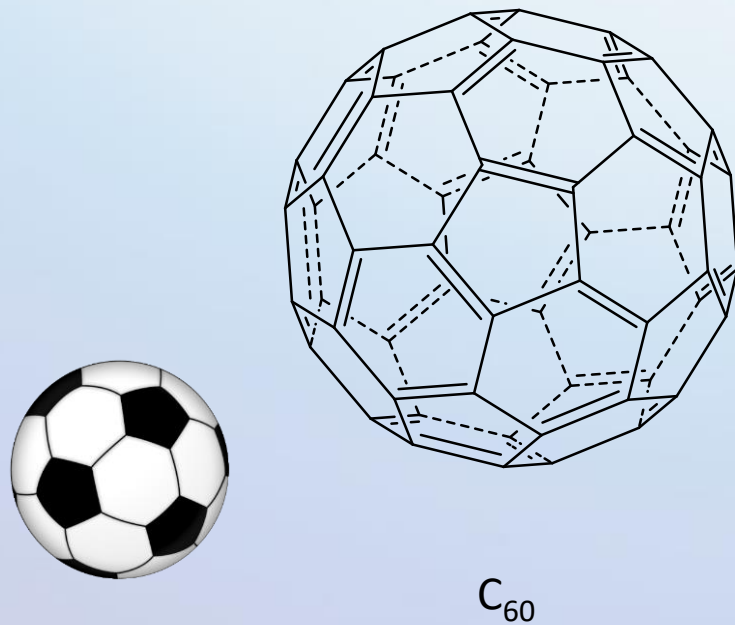
1600 – 4600 °C

Wissenschaftler haben nach alternativen Wegen gesucht, um Fullerene herzustellen. E. Osawa fand heraus, dass durch kontrolliertes Verbrennen von Verbindungen wie Benzol, Toluol und Acetylen Fullerene entstehen können.

Fullerene

Reaktionen, Eigenschaften, interessante
Fakten über ...

Fullerene + Halogene =?

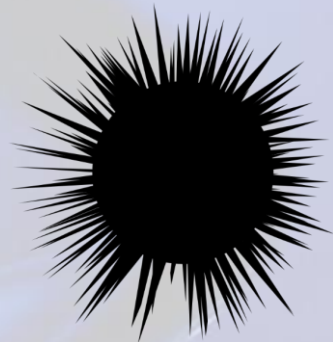
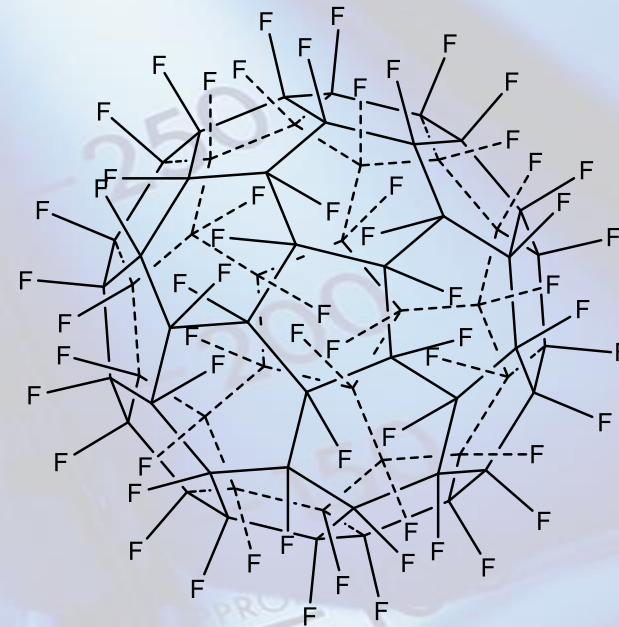
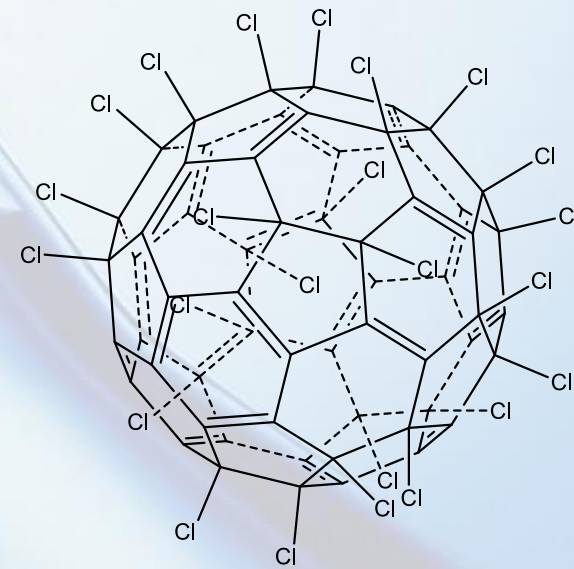


+ Cl₂

C₆₀Cl₂₄

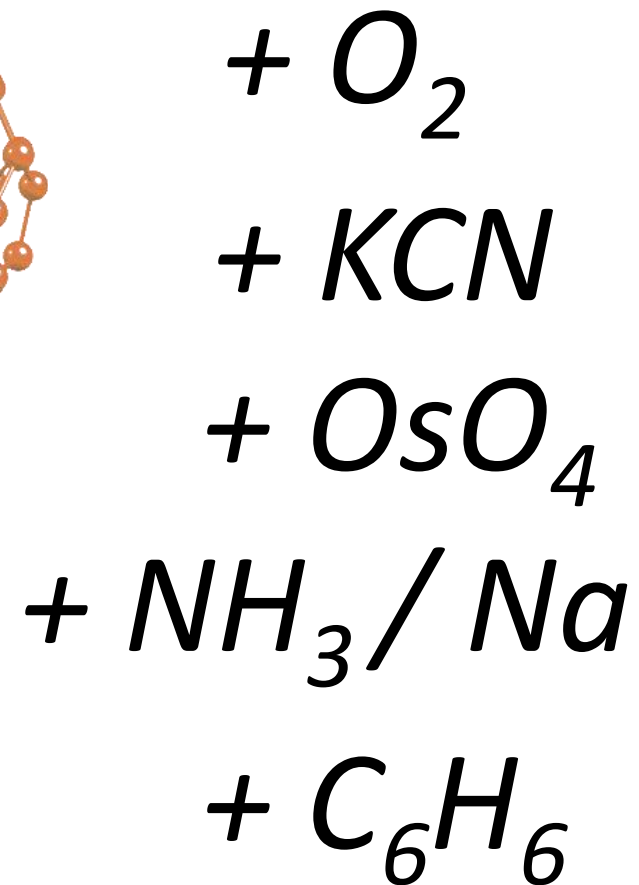
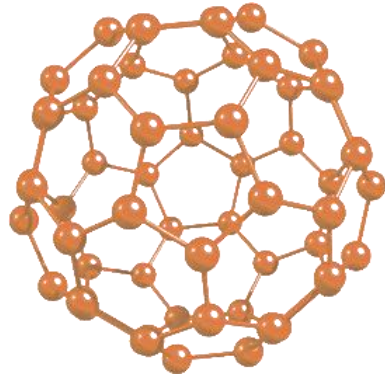
+ F₂

C₆₀F₆₀



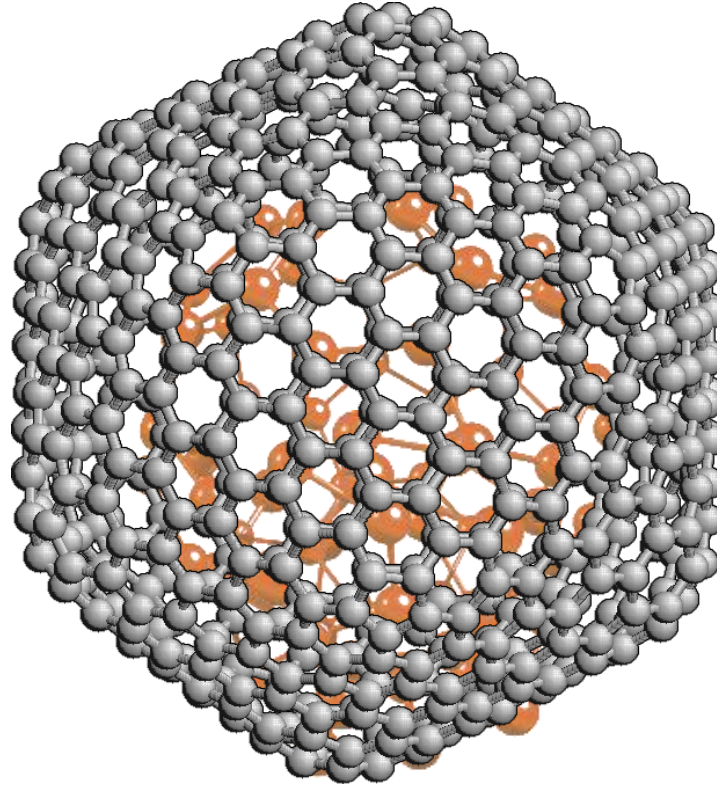
Obwohl Fullerene sehr bizarre Verbindungen zu sein scheinen, können sie mit verschiedenen Verbindungen reagieren. Mit Halogenen wie Chlor und Fluor reagieren sehr gut, was zu einigen verwandten Verbindungen mit Igeln führt.

Chemische Eigenschaften von Fullerenen



Fullerene können mit verschiedenen Verbindungen wie Sauerstoff, toxischem Kaliumcyanid, Osmiumtetroxid, Ammoniak und Benzol reagieren.

Fullerene in Fullerenen



Wissenschaftler haben vorgeschlagen, Fullerene in Fullerenen herzustellen, die besondere Eigenschaften haben können. Bis zu diesem Zeitpunkt war es nicht möglich, solche Strukturen zu erhalten.

Fullerene im Weltraum



Bernard H. Foing



Pascale Ehrenfreund

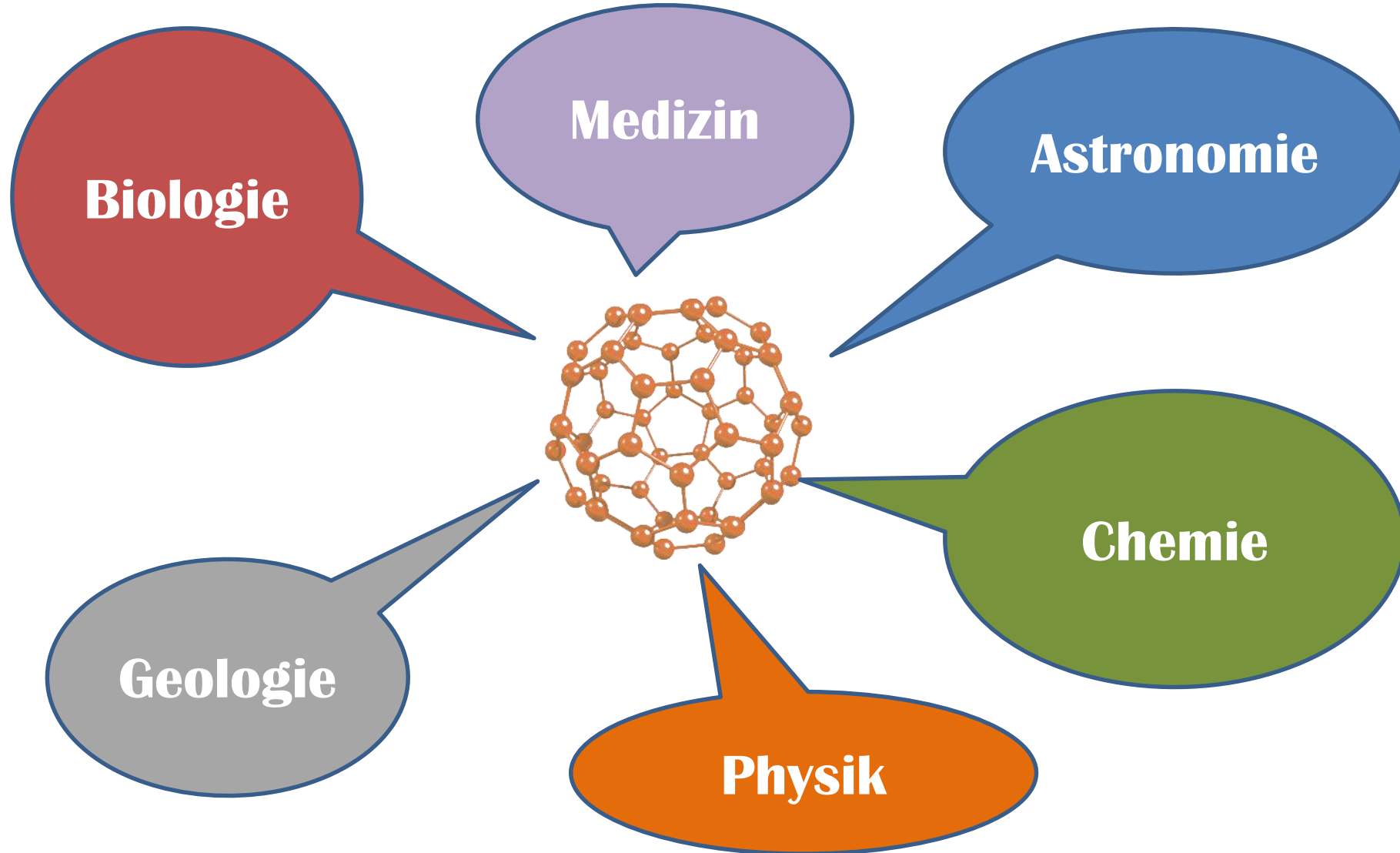
Die Wissenschaftler Bernard Foing und Pascale Ehrenfreund mit dem Spitzer-Teleskop (NASA) haben für viele von uns eine unerwartete Entdeckung gemacht: Fullerene existieren im Weltraum!



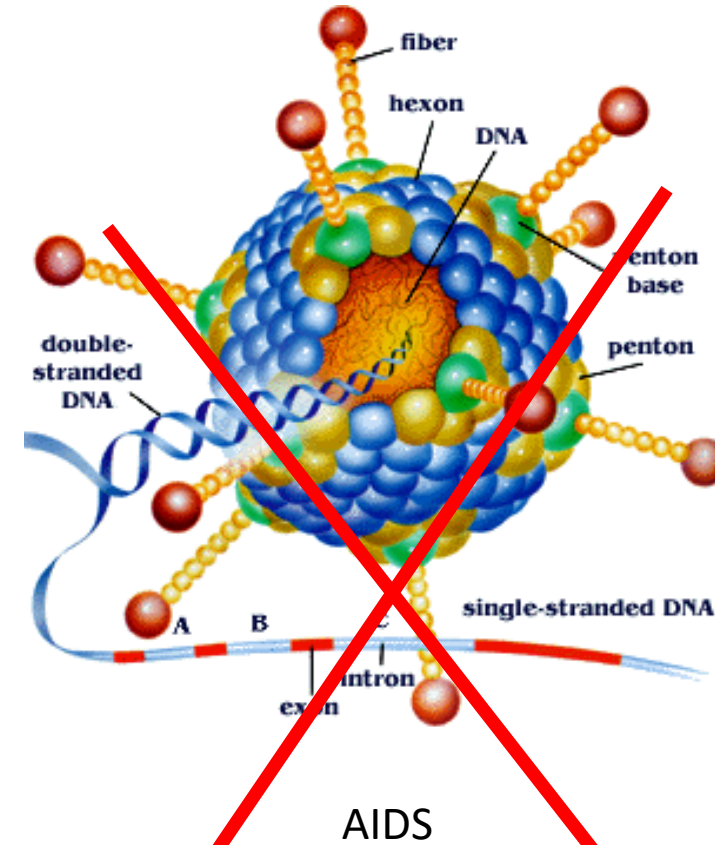
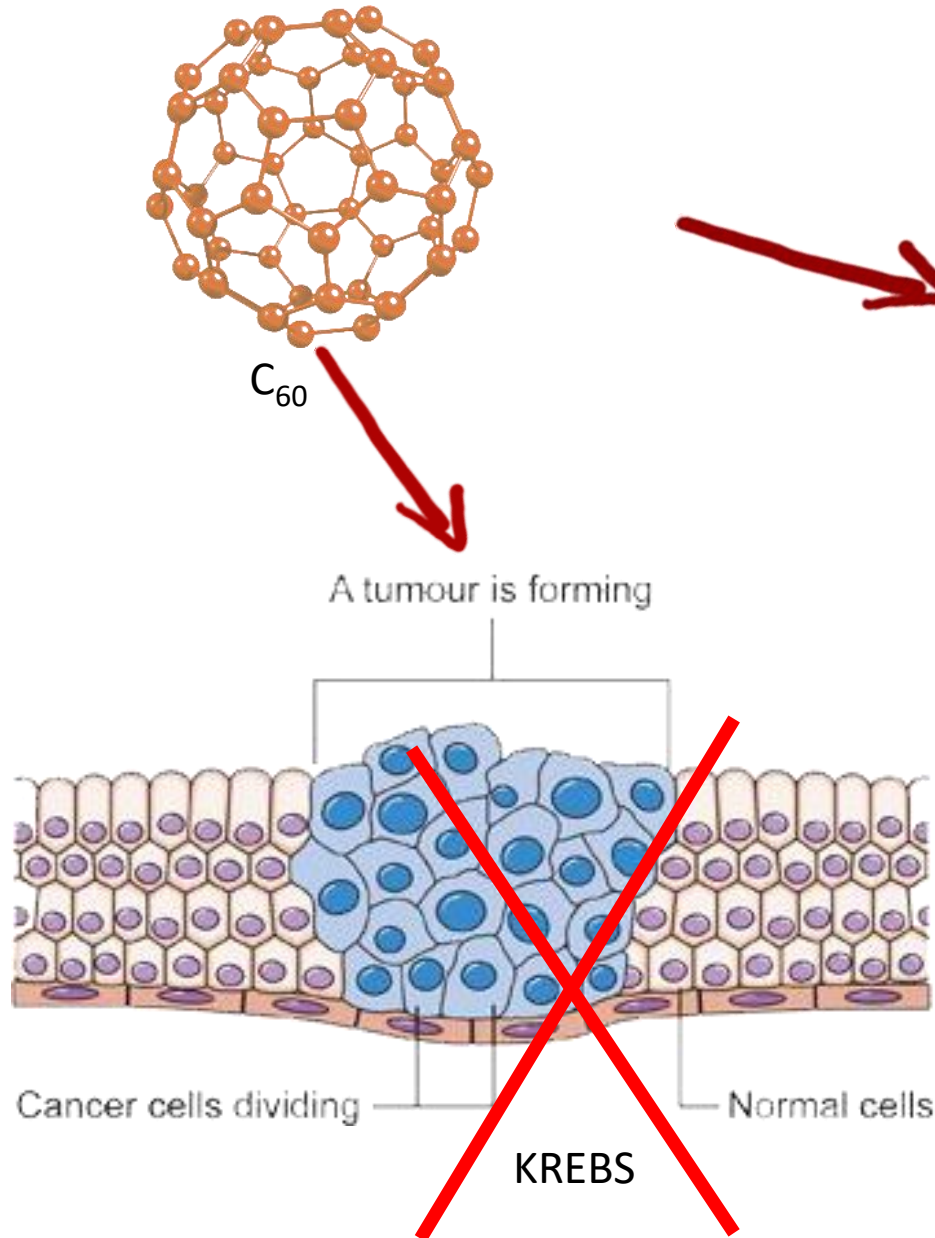
Nebula Tc1

Verwandte Felder von Fullerenen

Obwohl Fullerene im Vergleich zu anderen chemischen Strukturen nur sehr wenig Zeit bekannt sind, waren sie in verschiedenen Bereichen eingedrungen:



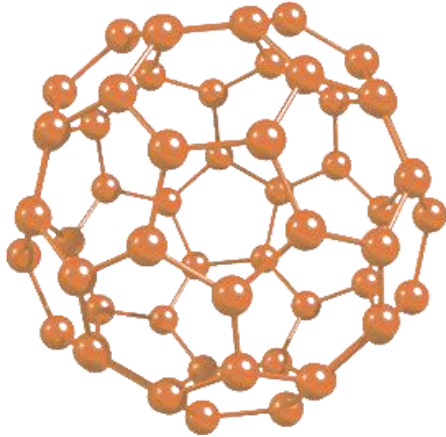
Fullerene in der Medizin



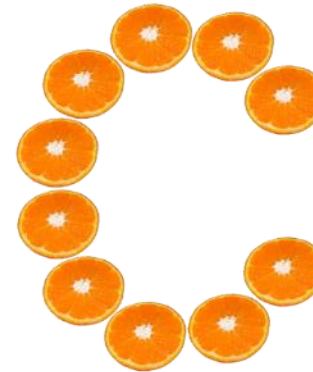
Die Studien zu Fullerenen hören nicht auf. Kürzlich fanden Forscher heraus, dass Fullerene helfen können, Krebs- und AIDS-Patienten zu heilen. Da Tests im Gange sind und es in Zukunft möglich ist, dass diese Moleküle es der Menschheit wunderbar ermöglichen, diese schweren Krankheiten zu vergessen.

Fullerene - Antioxidantien

Studien von Fullerenen im Vergleich zu verschiedenen für den Organismus benötigten Verbindungen wie Vitaminen zeigen, dass Fullerene eine 125-mal stärkere antioxidative Wirkung haben als Vitamin C.

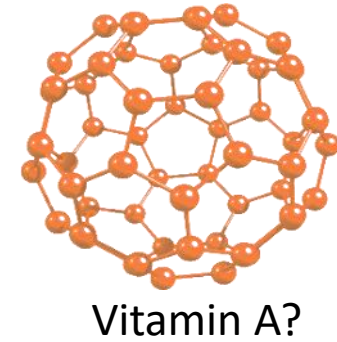
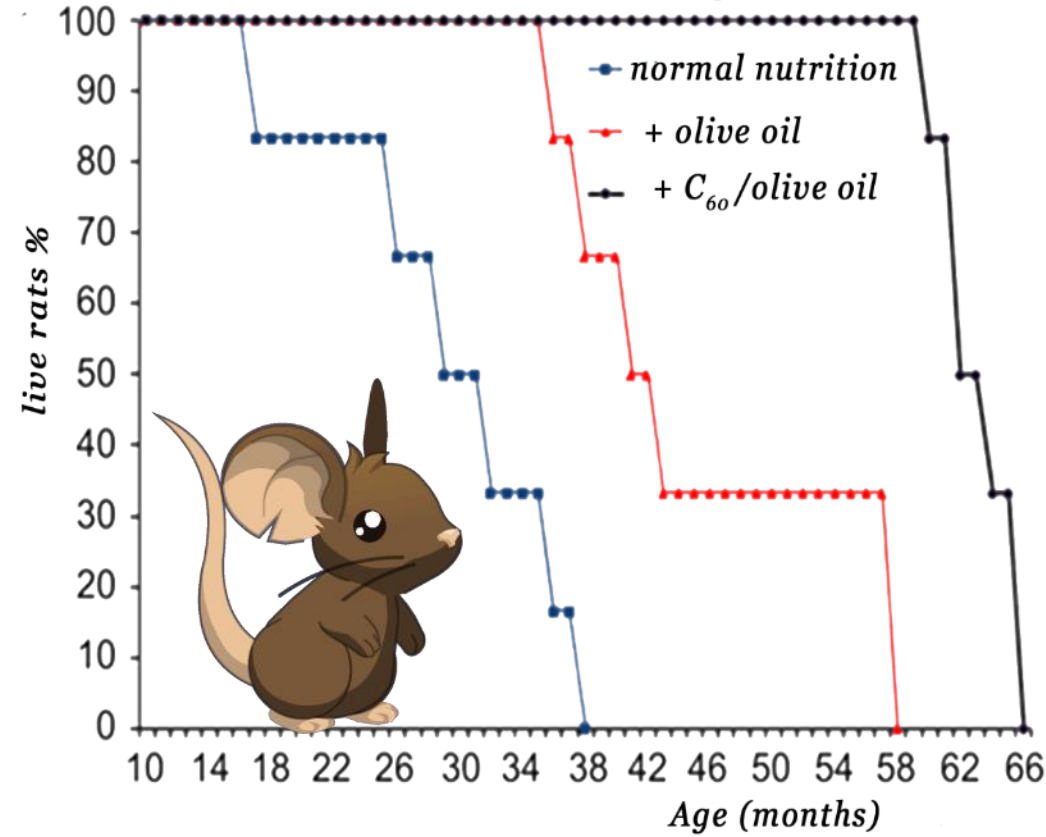


125 Mal stärker



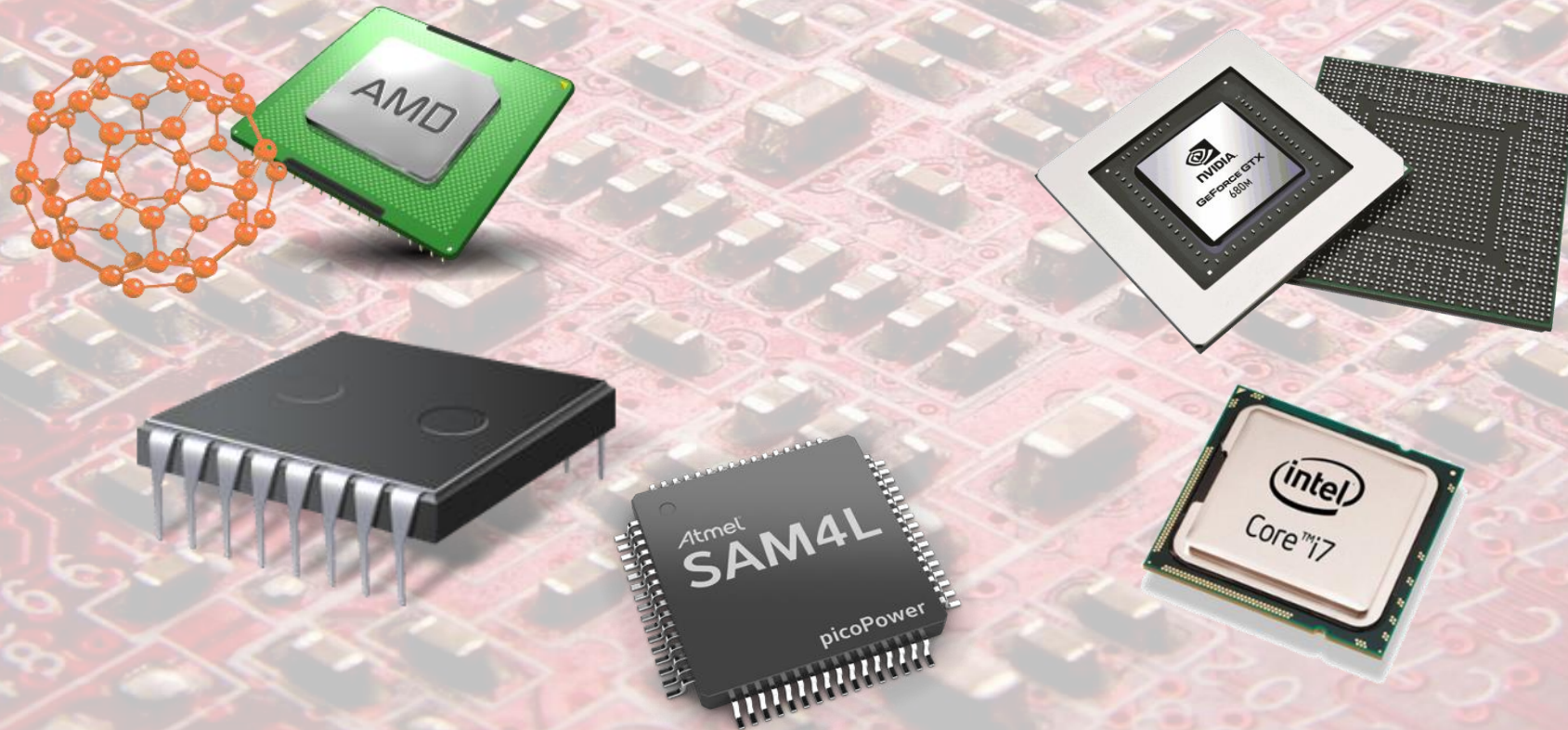
VITAMIN

Fullerene verlängern Leben



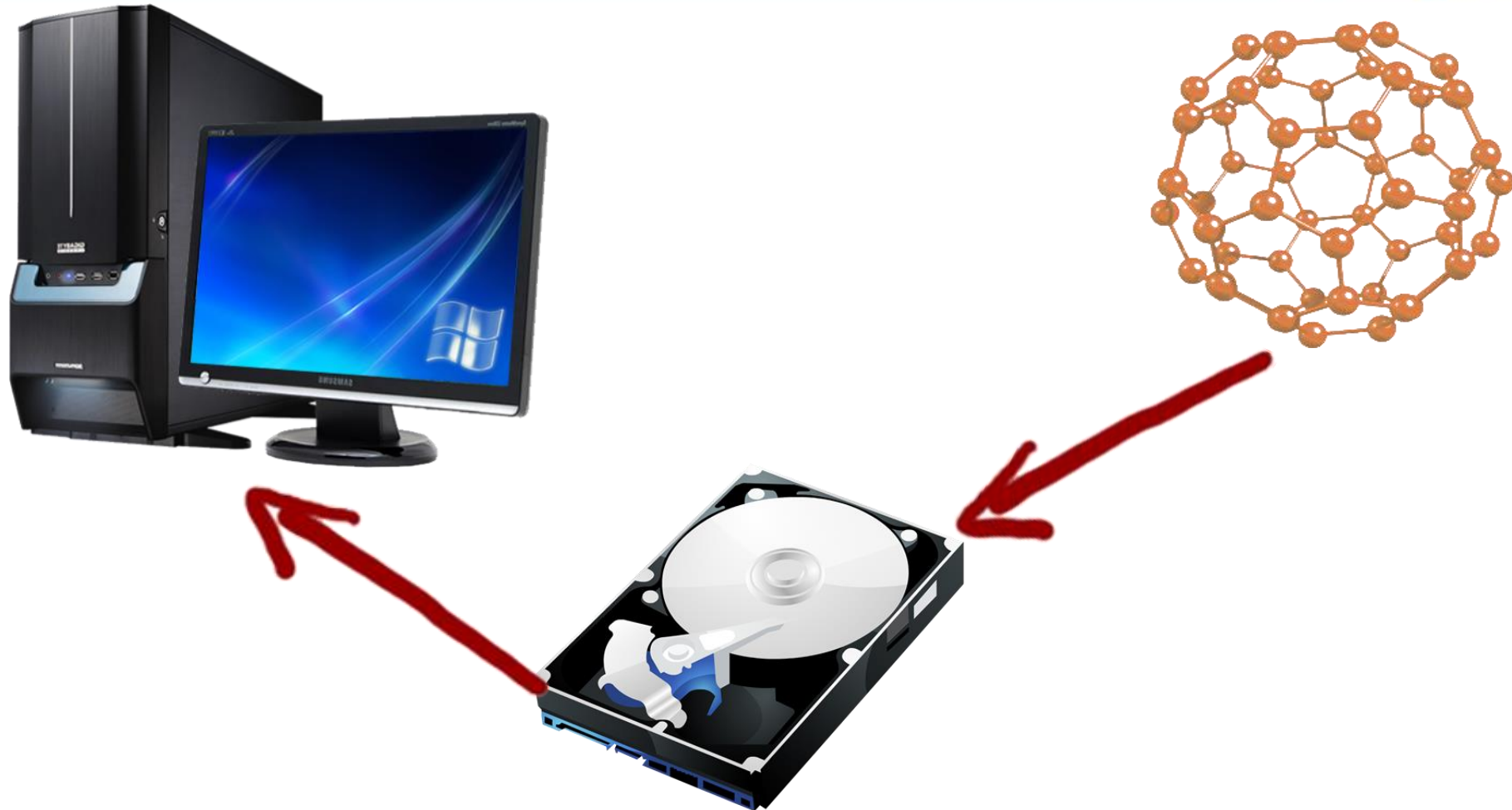
Die Fullerene können das Leben verlängern. Experimente an Mäusen haben gezeigt, dass Mäuse, denen in der Nahrung Olivenöl und Fullerene zugesetzt wurden, fast zweimal länger lebten als Mäuse, die normal fraßen. Wissenschaftler glauben, dass es möglich ist, dass Fullerene Vitamin A auf ungewöhnliche Weise aktivieren können.

Fullerene in der Nanotechnologie



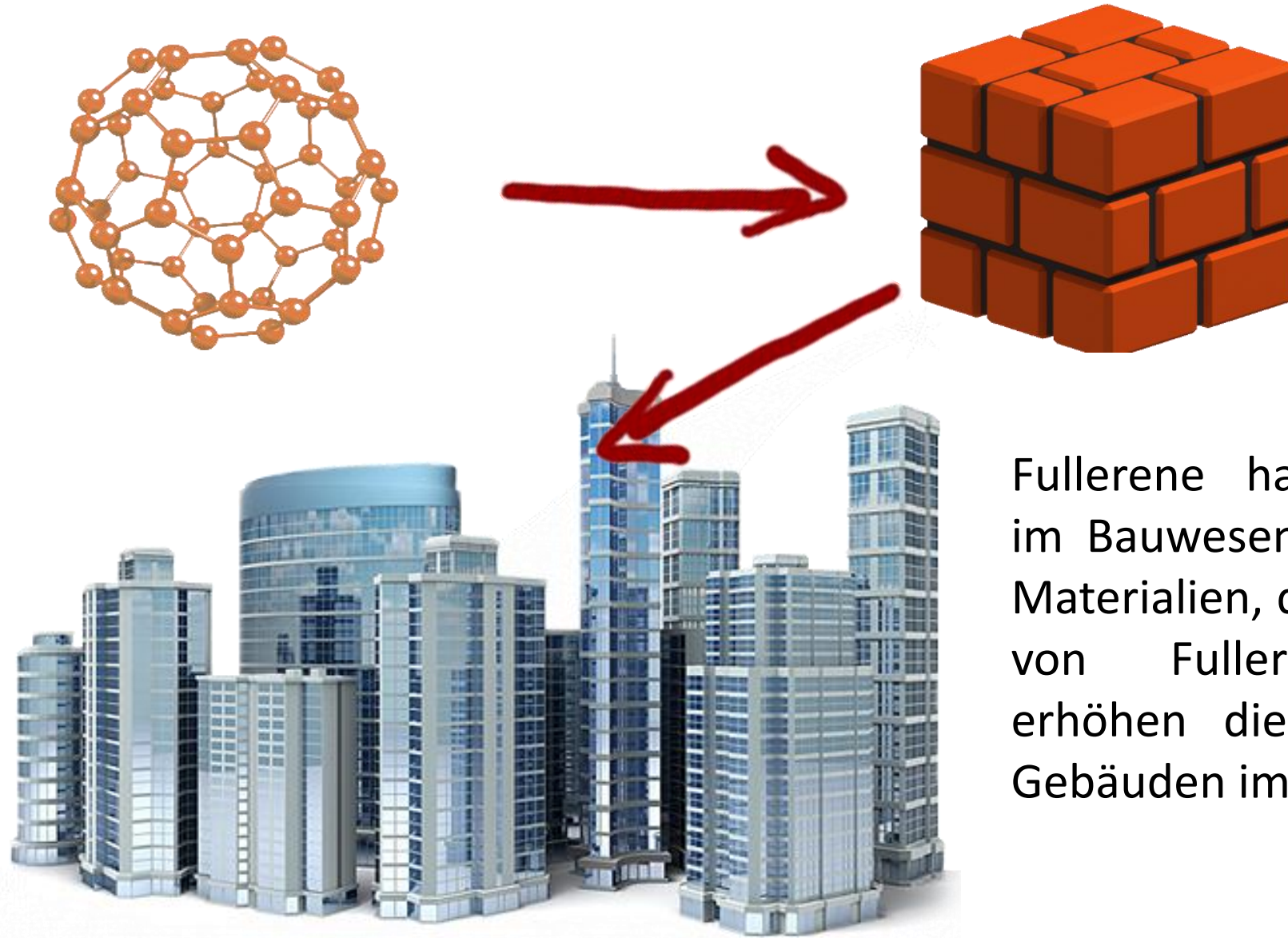
Die Nanotechnologie verwendet Fullerene bei der Herstellung verschiedener Chips und Mikroschaltungen. Große Unternehmen würden sie nutzen, um Geräte der neuen Generation zu entwickeln.

Die Schaffung großer und besserer Speichergeräte für Informationen



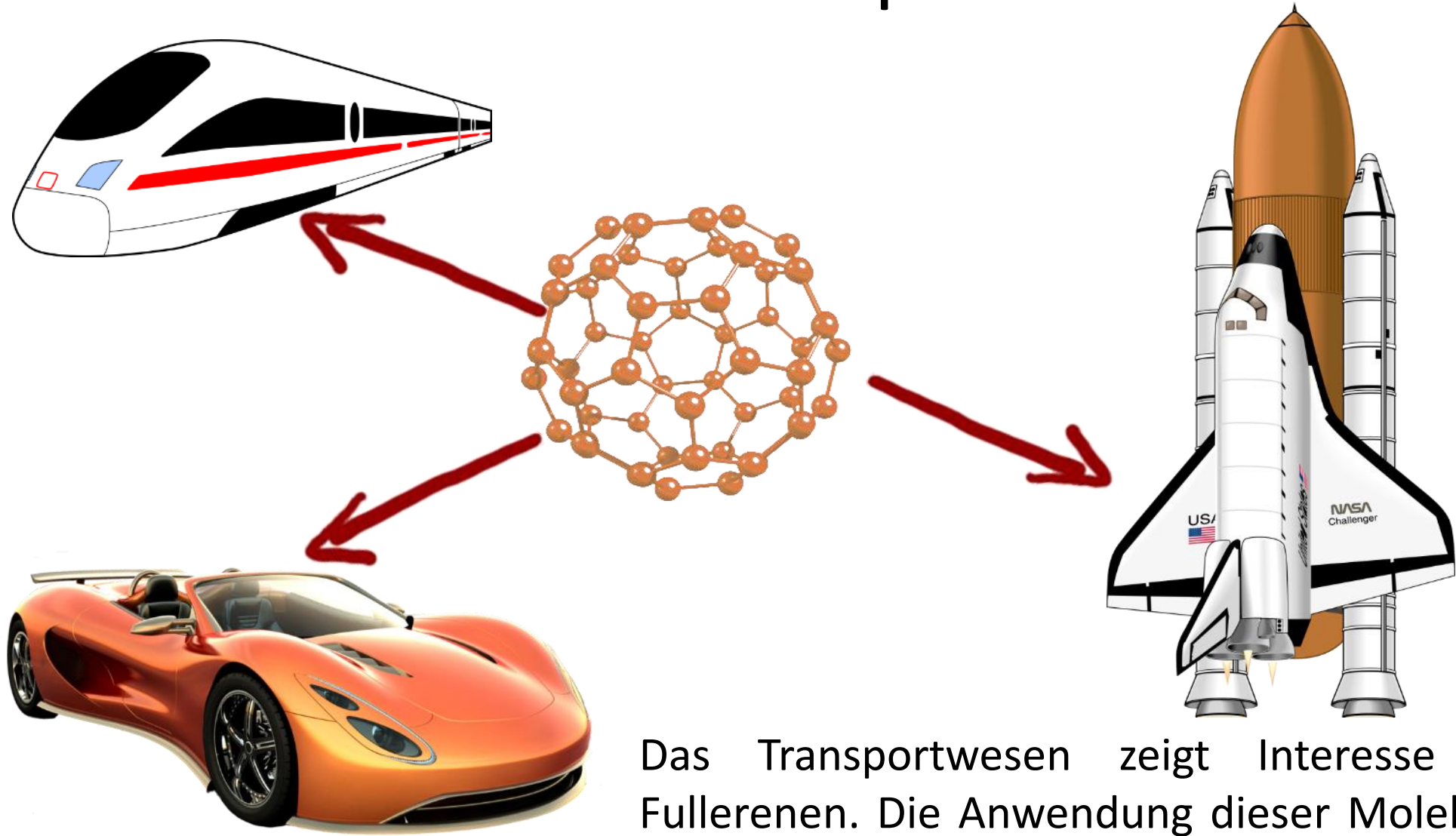
Fullerene sind in den Bereich der Informationstechnologie eingetreten. Es wird erwartet, dass durch die Verwendung von Fullerenen bei der Erstellung von Festplatten ein großer Computerspeicherplatz entsteht.

Durch Fullereene veränderte Materialien



Fullerene haben Anwendung im Bauwesen gefunden. Neue Materialien, die auf der Zugabe von Fullerenen basieren, erhöhen die Haltbarkeit von Gebäuden im Laufe der Zeit.

Fullerene und Transportwesen



Das Transportwesen zeigt Interesse an Fullerenen. Die Anwendung dieser Moleküle in verschiedenen Legierungen könnte die Abbauprozesse von Materialien verringern.

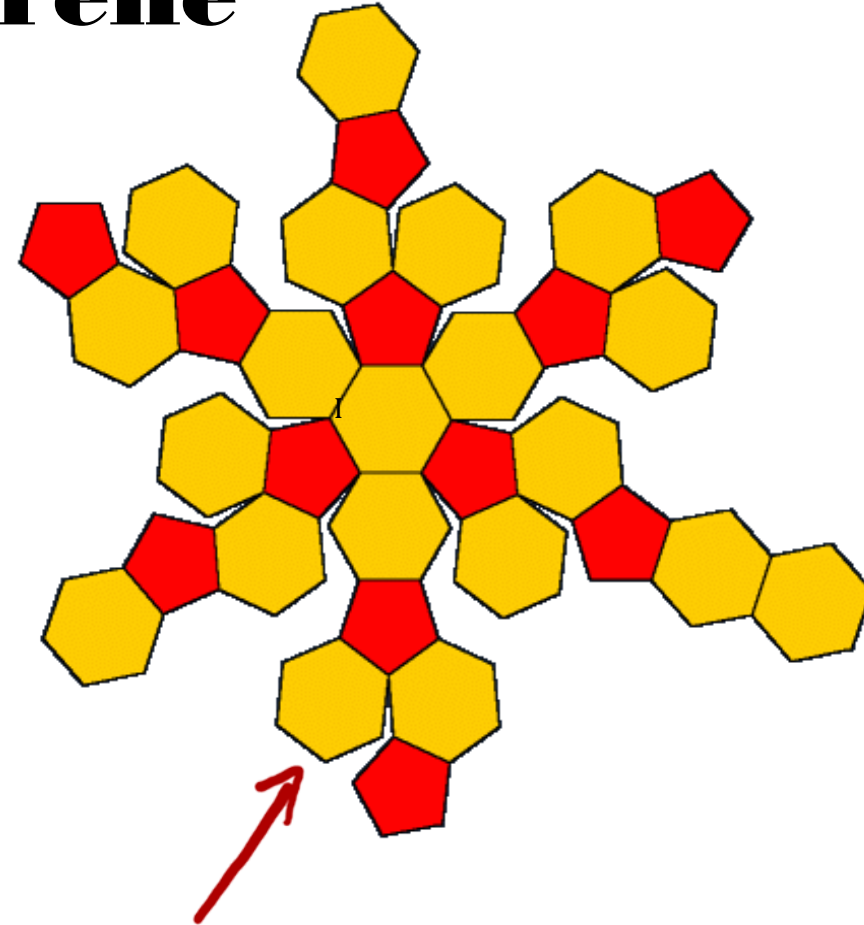
Optische Materialien



Wenn Sie eine Sonnenbrille oder ein Teleskop haben, ist es möglich, dass diese Fullerene enthalten. Bei Sonnenbrillen dienen Fullerene zum Schutz der Augen.

Fullerene

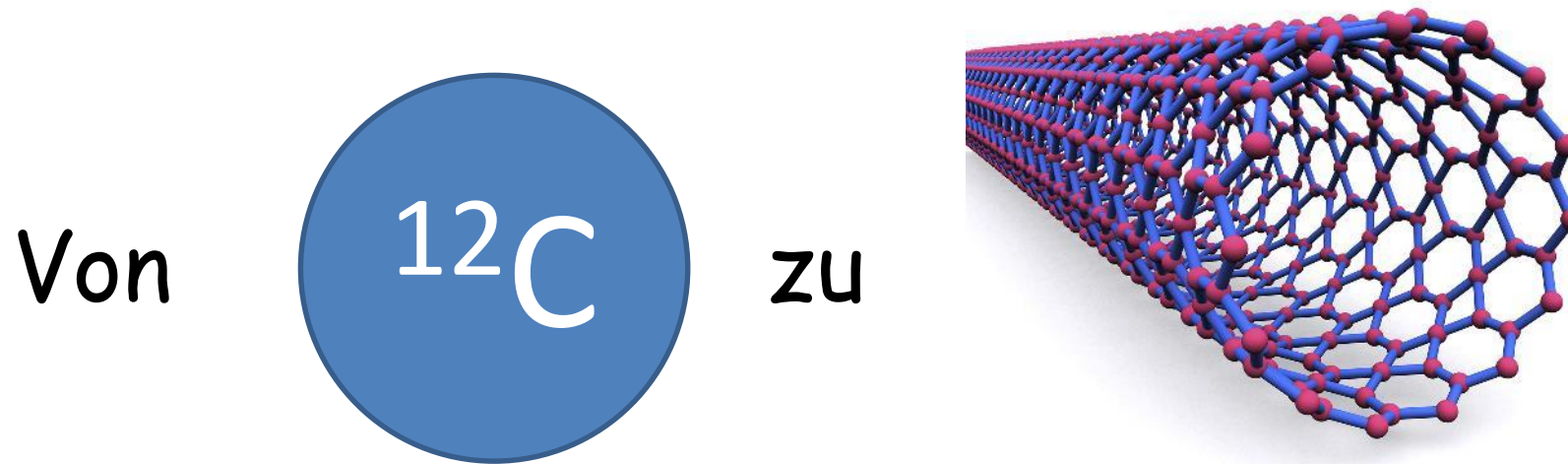
- Versuchen Sie, die Einheitsstruktur des C₆₀-Fulleren-Buckyball für den 3D-Druck zu modellieren, und zwar in Bezug auf das, was Sie bisher über seine Struktur erfahren haben.
- Die C₆₀-Fullerenstruktur enthält 20 Sechsecke und 12 Fünfecke Kohlenstoff, die koordiniert miteinander verbunden sind. Jedes Fünfeck aus Kohlenstoff ist mit fünf Sechsecken aus Kohlenstoff verbunden. Die entfaltete Struktur ist rechts dargestellt.
- Wenn Sie es nicht in 3D drucken können, drucken Sie es in 2D auf das Hochglanzpapier und erstellen Sie die 3D-Struktur durch Papierfalten.



Struktureinheit von Fulleren C₆₀

Analysieren Sie nach dem Drucken und Erhalten des 3D-Modells der C₆₀-Fullerenstruktur die Winkel und Längen der Bindungen und versuchen Sie, die durch die Struktur des Fulleren gegebene Steifheit / Flexibilität zu beobachten.

Karbonbasierte Nanomaterialien



Nanoröhrchen

Von Spinnenseide bis zu Nanoröhrchen?

Die meisten von uns mögen keine Insekten wie Spinnen. Aber wir alle wissen, dass sie ein erstaunliches Talent haben: Spinnennetz zu produzieren.

Spinnen bauen ihr Netz auf, indem sie eine proteinhaltige Spinnenseide aus ihren Spinndüsen extrudieren.

Die Zugfestigkeit von Spinnenseide ist größer als das gleiche Gewicht von Stahl und hat eine viel größere Elastizität. Spinnenseide ist fünfmal so stark wie Stahl! Ist das nicht erstaunlich?

Einige Spinnennetze können sogar Winde mit Hurrikanstärke aushalten!



Spider Web.



Dew on Spiders' Web

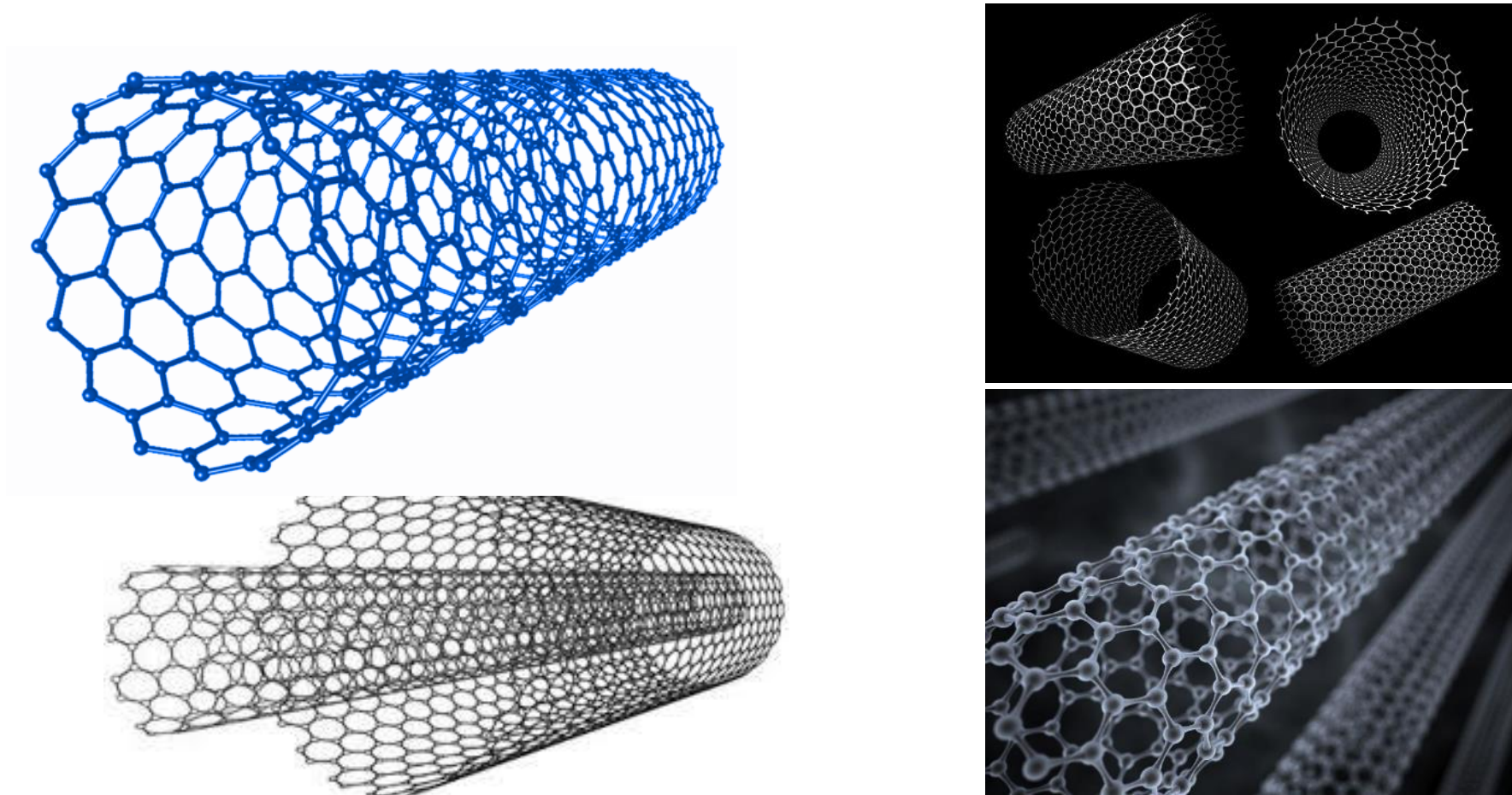
Von Spinnenseide bis zu Nanoröhrchen?

Neben den Filmproduzenten waren auch die erstaunlichen Eigenschaften von Spinnenseide und Netz für Wissenschaftler ein Wunder.

Die Wissenschaftler untersuchten zunächst die Eigenschaften von Spinnenseide und Netz. Dann beschlossen sie wie üblich, die Seide der Spinnen nachzuahmen. Und fanden heraus, dass die „Carbon Nanotubes“ das am besten geeignete Material sind, um die Seide von Spinnen nachzuahmen.

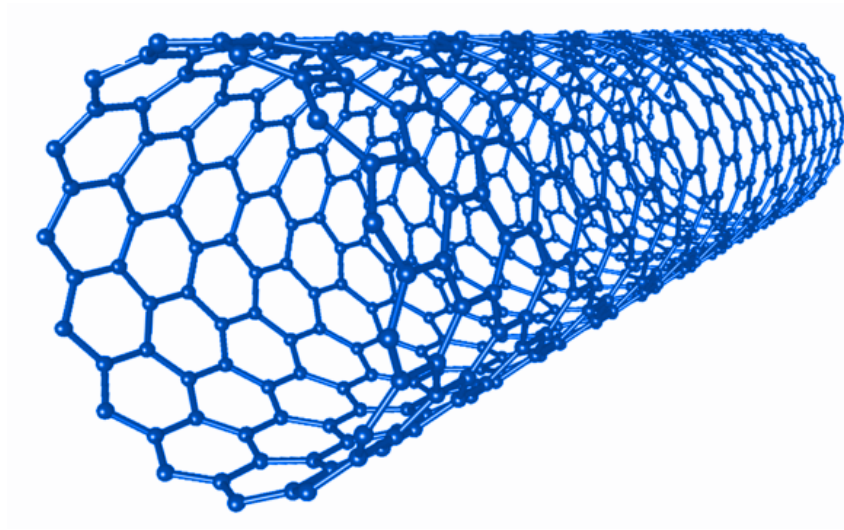


Was sind Nanoröhrchen?



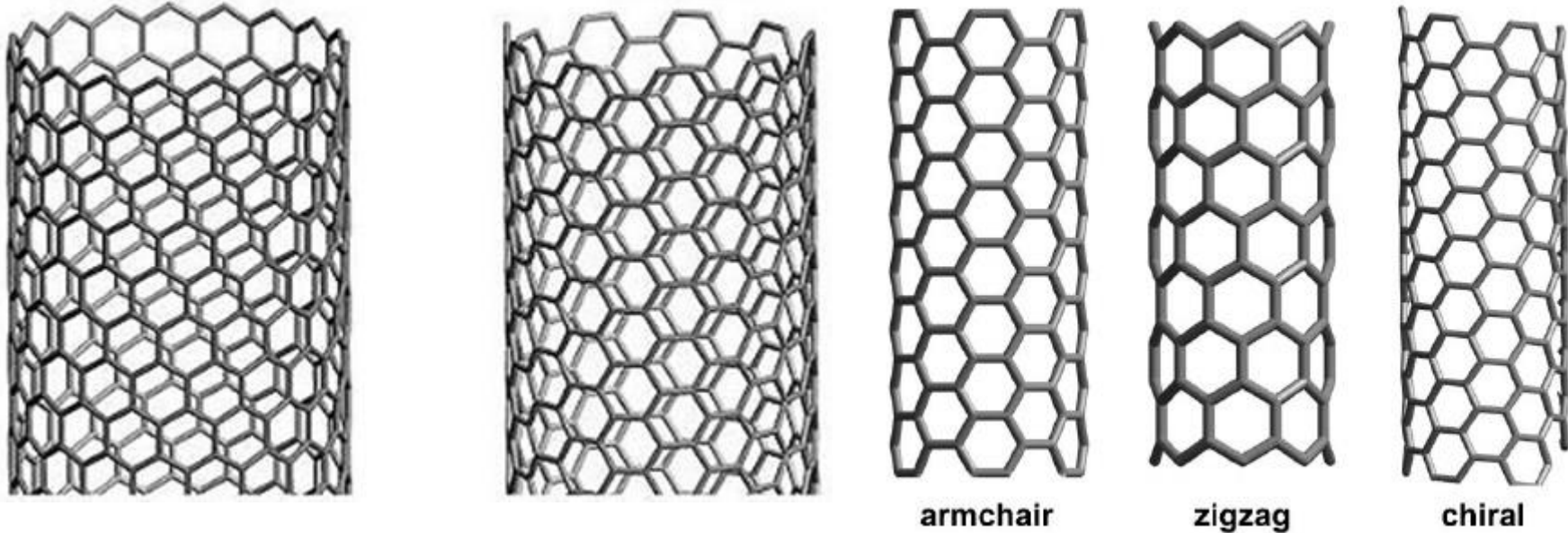
Kohlenstoffnanoröhrchen sind alternative Formen oder "Allotrope" von Kohlenstoff, genau wie Diamant und Graphen (Bleistiftmine), die wie Zylinder geformt sind

Was sind Nanoröhrchen?



Sie wurden 1991 vom japanischen Wissenschaftler Sumio Iijima entdeckt.

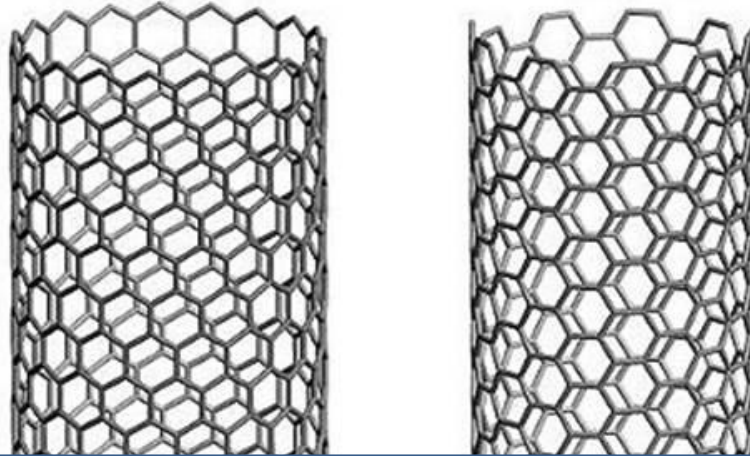
Struktur der Nanoröhrchen



- Die besondere Natur von Kohlenstoff kombiniert mit der molekularen Perfektion von Buckytubes (einwandigen Kohlenstoffnanoröhrchen), um ihnen außergewöhnlich hohe Materialeigenschaften wie elektrische und thermische Leitfähigkeit, Festigkeit, Steifheit und Zähigkeit zu verleihen.
- Kein anderes Element im Periodensystem bindet sich in einem erweiterten Netzwerk mit der Stärke der Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung an sich.
- Das von jedem Atom abgegebene delokalisierte Pi-Elektron kann sich frei über die gesamte Struktur bewegen, anstatt mit seinem Donoratom zu Hause zu bleiben, wodurch das erste Molekül mit metallischer elektrischer Leitfähigkeit entsteht.
- Die hochfrequenten Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungsvibrationen bieten eine intrinsische Wärmeleitfähigkeit, die höher ist als die von Diamant.

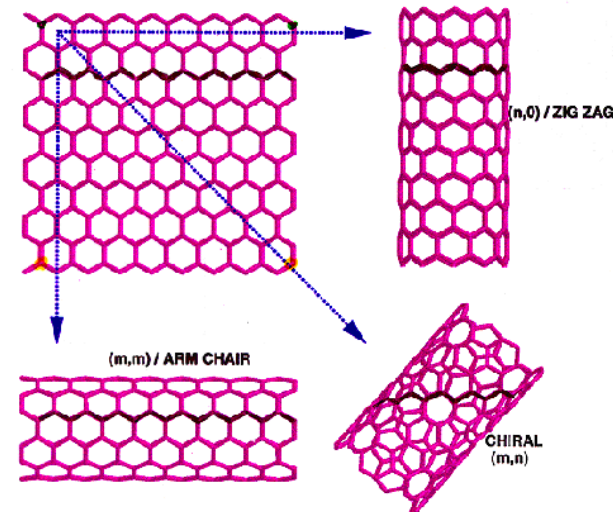
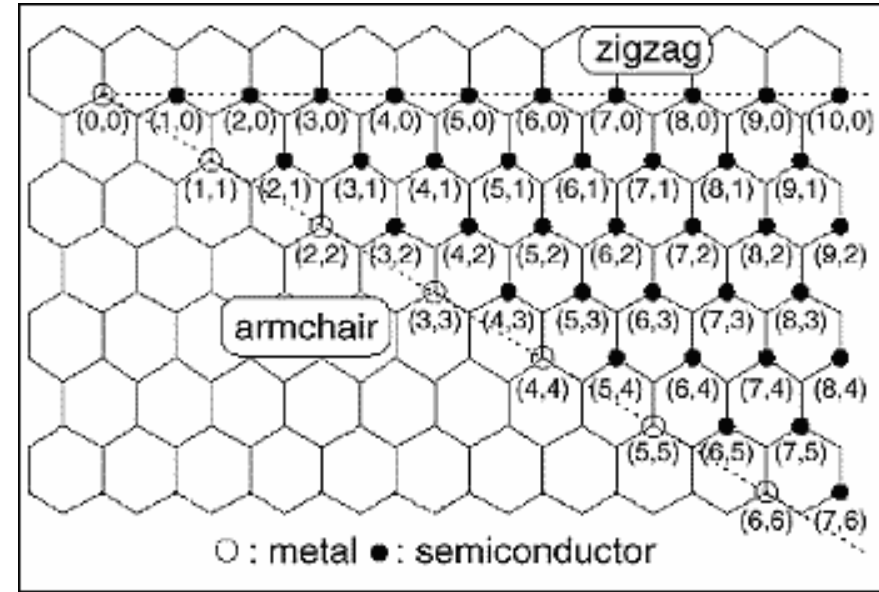
Buckytube-Strukturen

- Buckytubes sind einwandige Kohlenstoffnanoröhren, in denen eine einzelne Graphitschicht - Graphen - zu einer nahtlosen Röhre aufgerollt wird.
- Graphen besteht aus einer sechseckigen Struktur wie Hühnerdraht. Wenn Sie sich vorstellen, Graphen oder Hühnerdraht zu einem nahtlosen Rohr aufzurollen, kann dies auf verschiedene Arten erreicht werden.
- Zum Beispiel können Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen (die Drähte in Hühnerdraht) parallel oder senkrecht zur Rohrachse sein, was zu einem Rohr führt, bei dem die Sechsecke das Rohr wie ein Gürtel umkreisen, aber unterschiedlich ausgerichtet sind.
- Alternativ müssen die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen weder parallel noch senkrecht sein. In diesem Fall drehen sich die Sechsecke mit einer Steigung um das Rohr, abhängig davon, wie das Rohr umwickelt ist. Die folgende Abbildung zeigt die folgenden Punkte:



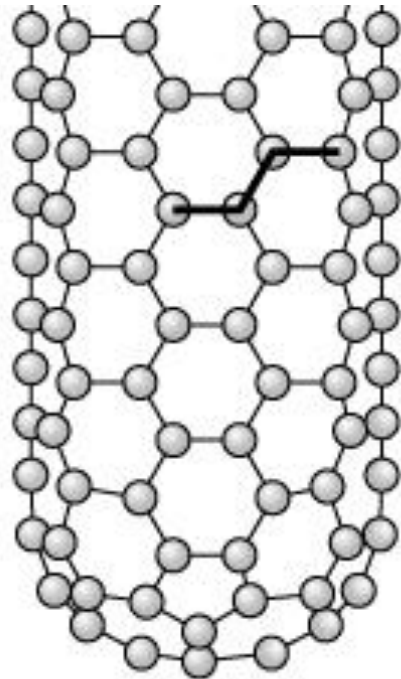
Namenskonvention

- Es gibt eine einfache Kennzeichnungskonvention, um unterschiedlich verpackte Röhren voneinander zu unterscheiden.
- Die Abbildung gibt die Anzahl der Einheitsvektoren an, die erforderlich sind, um zwei Atome im planaren hexagonalen Gitter zu einer nahtlosen Röhre zu verbinden.
- Diese Zahlen geben einen "Vektor" für die Abbildung an, der üblicherweise als (m, n) ausgedrückt wird, wobei m und n ganze Zahlen sind.
- Diese Nummern bilden einen eindeutigen "Namen" für eine Röhre. Jedes Rohr mit dem Namen " n " ($n, 0$) weist Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen auf, die parallel zur Rohrachse verlaufen und an einem offenen Ende ein "Zick-Zack" -Muster bilden. Diese Röhren werden als "Zick-Zack" -Röhren bezeichnet.

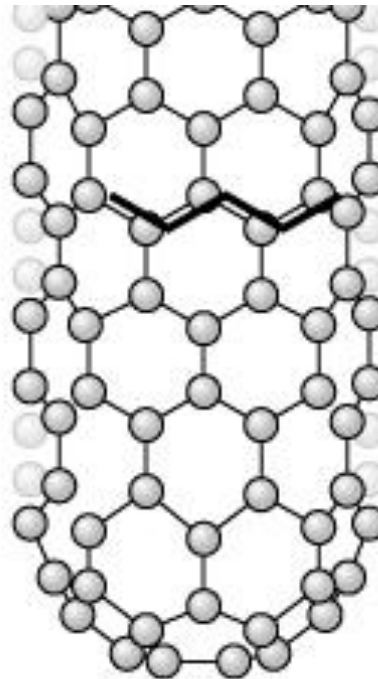


Namenskonvention

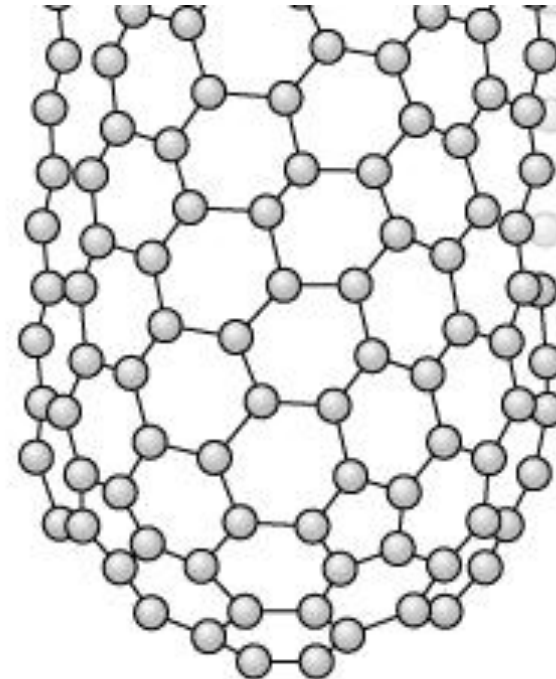
- Die Röhren mit der Bezeichnung (n, n) , bei denen die beiden ganzen Zahlen gleich sind, haben Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindungen, die senkrecht zur Röhrenachse verlaufen, und werden häufig als "Sessel" -Röhren bezeichnet. Diese beiden Grundtypen sind achiral, d.h. sie haben kein unterschiedliches Spiegelbild wie die linke und die rechte Hand.
- Alle anderen Röhren mit dem Namen (m, n) , bei denen m nicht gleich n ist und auch nicht 0 ist, sind chiral und haben links- und rechtshändige Varianten.



Armchair



Zigzag



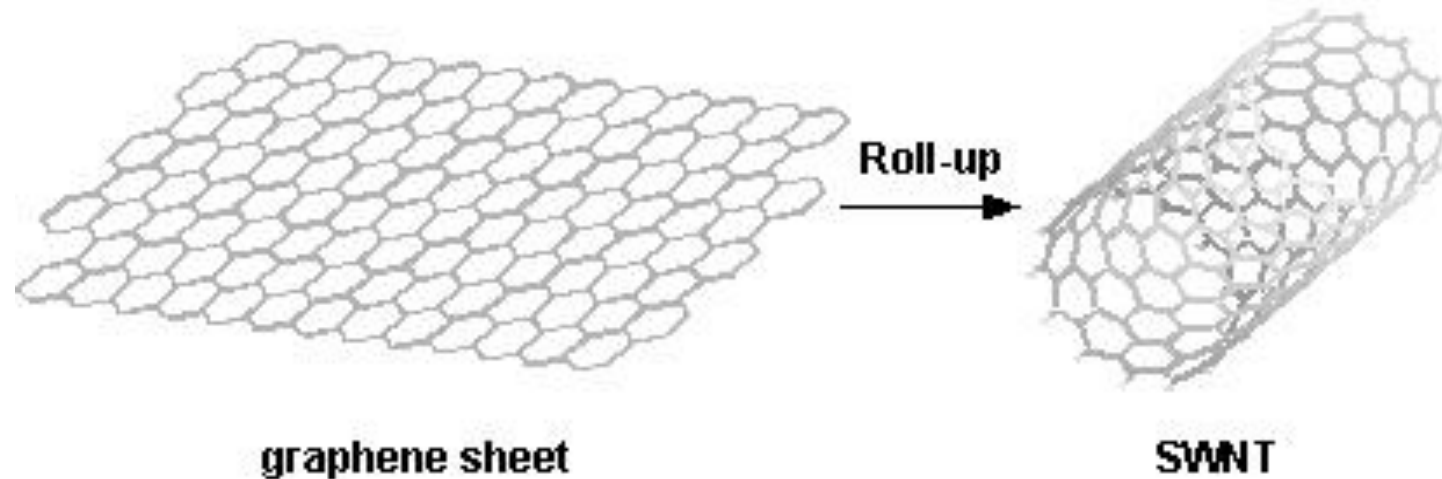
Chiral

Kohlenstoffnanoröhrenstrukturen

- CNTs werden als einwandige Nanoröhrchen (SWCNTs) und mehrwandige Nanoröhrchen (MWCNTs) charakterisiert .

Einwandige Kohlenstoffnanoröhrchen (SWCNTs):

Wenn eine Graphenschicht aufgerollt wird, wird ein einwandiges CNT gebildet.



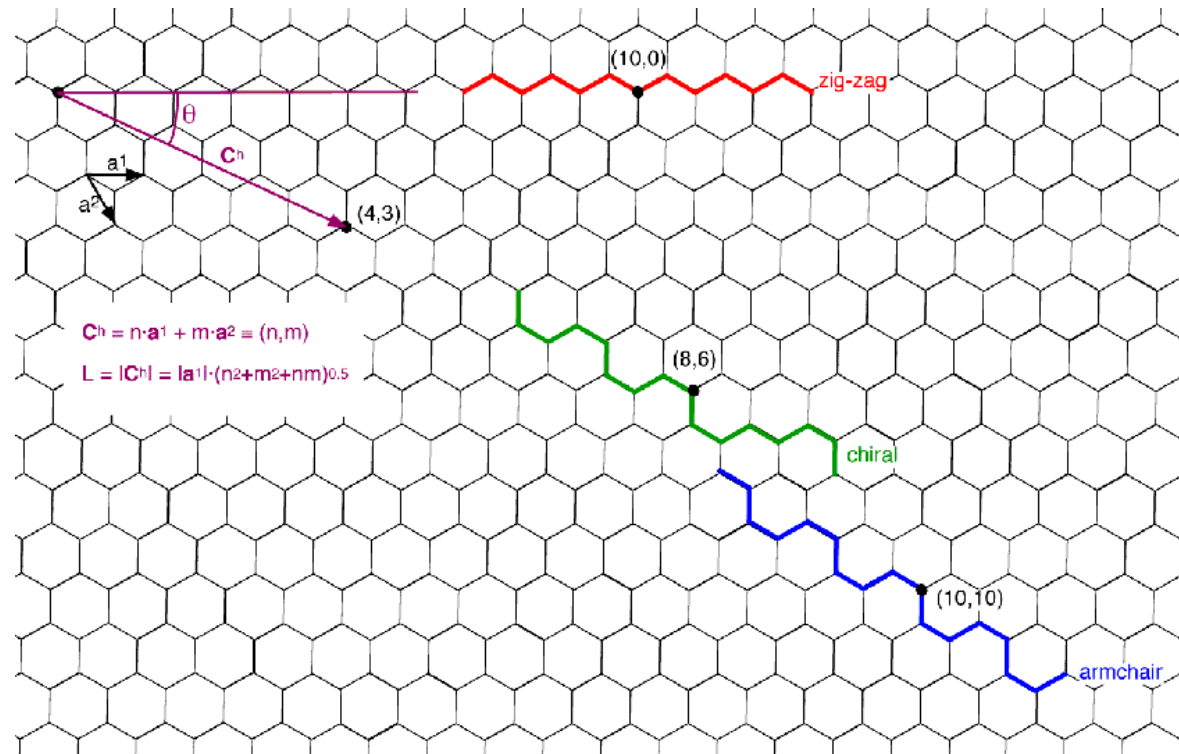
Einwandiges Nanoröhrchen ⁽³⁾ (Copyright Professor Charles M. Lieber Group)

Die Graphenschichten werden in bestimmten und diskreten Winkeln gerollt. Die Kombination aus Rollwinkel und Radius bestimmt die Eigenschaften von CNTs. Die Produkte werden gruppiert als "Armchair", "Zigzag", und "Chiral".

Kohlenstoffnanoröhrchenstrukturen

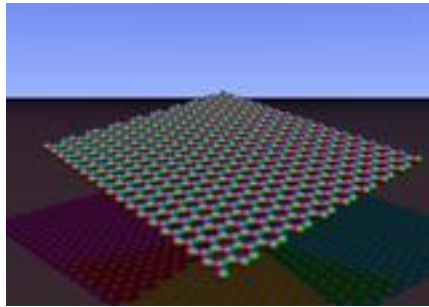
Armchair und Zigzag SWCNT:

Wenn die Graphenschicht entlang einer Symmetrieachse aufgerollt wird, kann dies entweder zu *armchair* oder zu *zigzag* -CNTs führen.

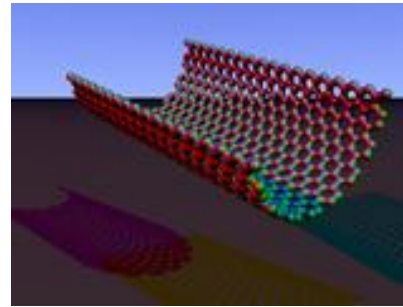


Achse zum Aufrollen der Graphenschicht.⁽⁴⁾

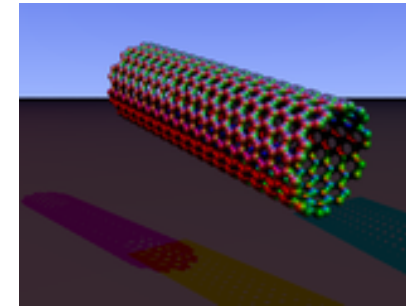
Kohlenstoffnanoröhrchenstrukturen



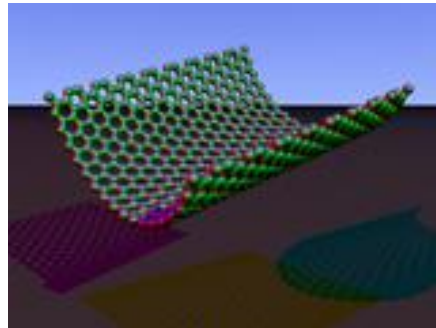
Graphen-Nanoband



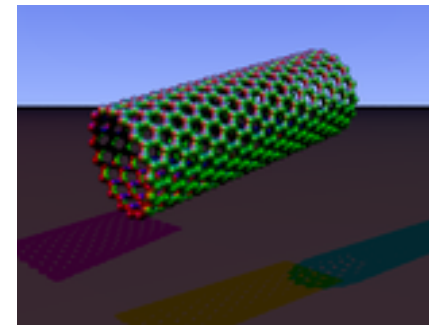
Armchair SWCNTs.⁽⁵⁾



Armchair



Zigzag SWCNTs⁽⁵⁾

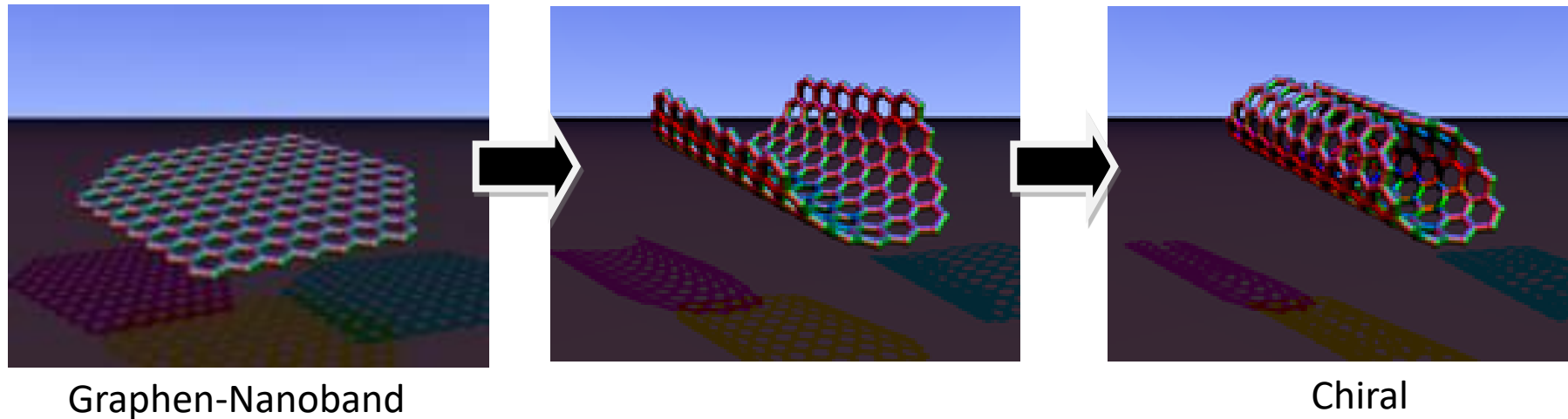


Zigzag

Kohlenstoffnanoröhrchenstrukturen

Chiral SWCNTs:

Es ist auch möglich, das Blatt in eine Richtung aufzurollen, die sich von einer Symmetrieachse unterscheidet: Man erhält eine chirale Nanoröhre, in der die äquivalenten Atome jeder Einheitszelle auf einer Spirale ausgerichtet sind.

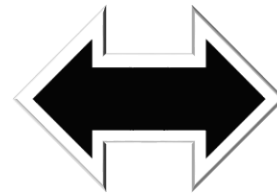
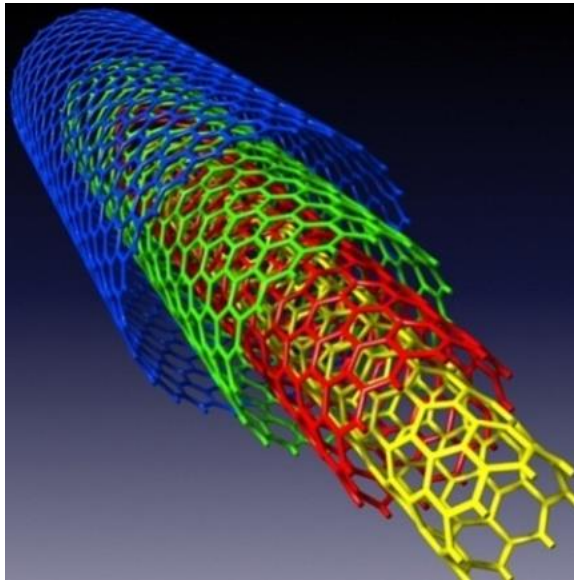


Chiral SWCNTs.⁽⁵⁾

Kohlenstoffnanoröhrchenstrukturen

Vielwandige CNTs:

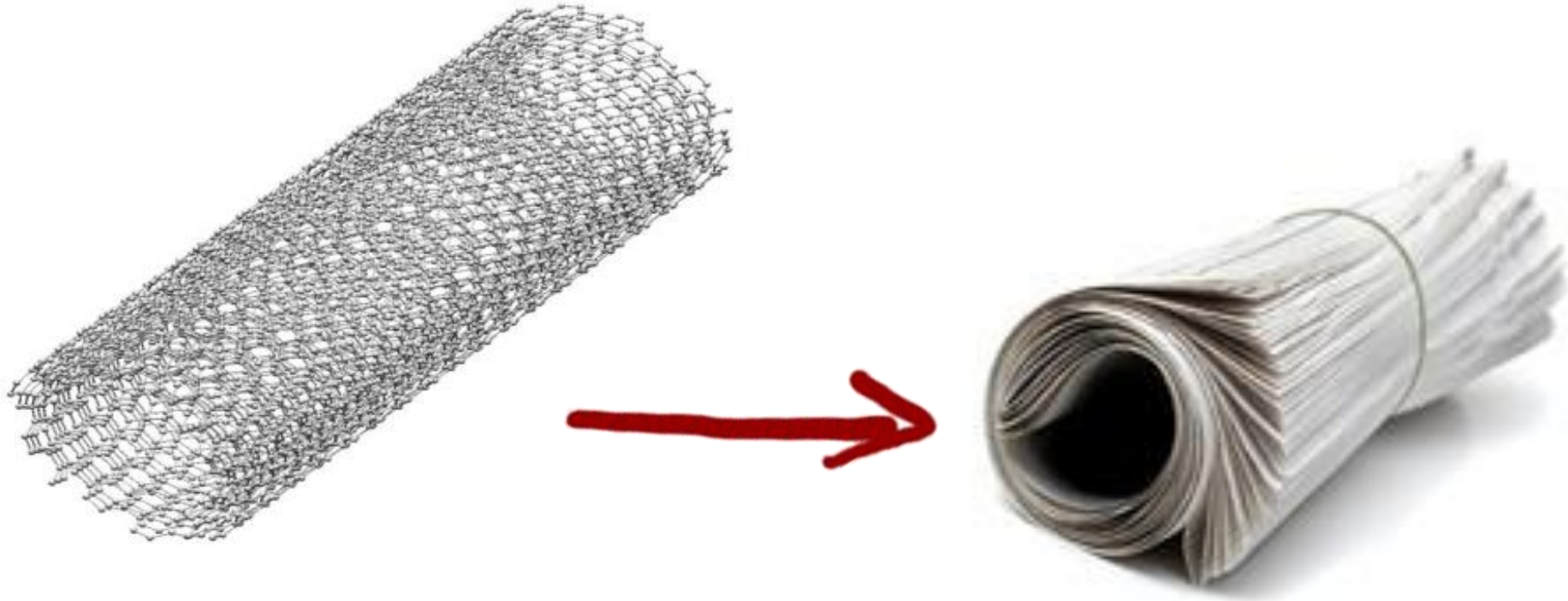
Vielwandige Nanoröhrchen (MWNT) bestehen aus mehreren gewalzten Schichten (konzentrischen Rohren) aus Graphen. Es gibt zwei Modelle, mit denen die Strukturen mehrwandiger Nanoröhren beschrieben werden können. Im Modell der *Russischen Puppe*, Graphitplatten sind in konzentrischen Zylindern angeordnet.



Vielwandige Nanoröhrchen – Modell der *Russischen Puppe* (MWCNTs)⁽⁶⁾

Kohlenstoffnanoröhrchenstrukturen

Im Pergamentmodell wird ein einzelnes Graphitblatt um sich herum gerollt, ähnlich einer Pergamentrolle oder einer gerollten Zeitung.



Vielwandige Nanoröhrchen – Pergamentmodell.

Properties of Different Tube Types

The strength of bonding between carbon atoms, gives carbon nanotubes amazing mechanical properties.

According to Young Modulus (a measurement scale of stiffness), the stiffness of CNTs is 5 times higher than steel.

Nanotubes can be either electrically conductive or semiconductive, depending on their helicity, leading to nanoscale wires and electrical components. These one-dimensional fibers exhibit electrical conductivity as high as copper, thermal conductivity as high as diamond, strength 100 times greater than steel at one sixth the weight, and high strain to failure. All armchair CNTs exhibit metallic properties and they are semiconductors of electricity.

Eigenschaften verschiedener Röhrentypen

Kohlenstoffnanoröhren weisen eine Reihe außergewöhnlicher Eigenschaften auf, darunter:

hohe elektrische Leitfähigkeit, hohe Wärmeleitfähigkeit, mechanische Festigkeit, Wärmewiderstand / Stabilität

Größe

- Durchmesser SWNT 0.6-1.8 nm

Wärmeleitfähigkeit

- 6000 W/m K bei Zimmertemperatur

Thermische Stabilität

- Im Vakuum bis zu 28000C, in der Luft bis zu 10000C, abhängig von der Reinheit

Dichte

- 1,33 – 1,4 g/cm³

Reißfestigkeit

- 45 Milliarden Pa

Flexibilität

- Kann ohne Beschädigung stark verzerrt werden und kehrt zur vorherigen Form zurück. Die elektrischen Eigenschaften ändern sich.

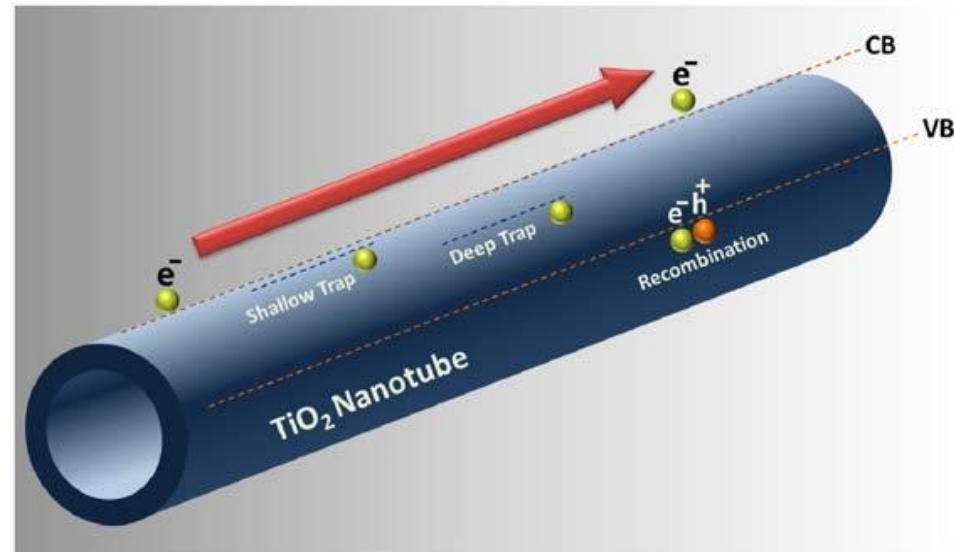
Feldemission

- Lichtemissionsmaterialien können bereits bei 1-3 V aktiviert werden, wenn der Elektrodenabstand 1 mm beträgt.

Eigenschaften verschiedener Röhrentypen

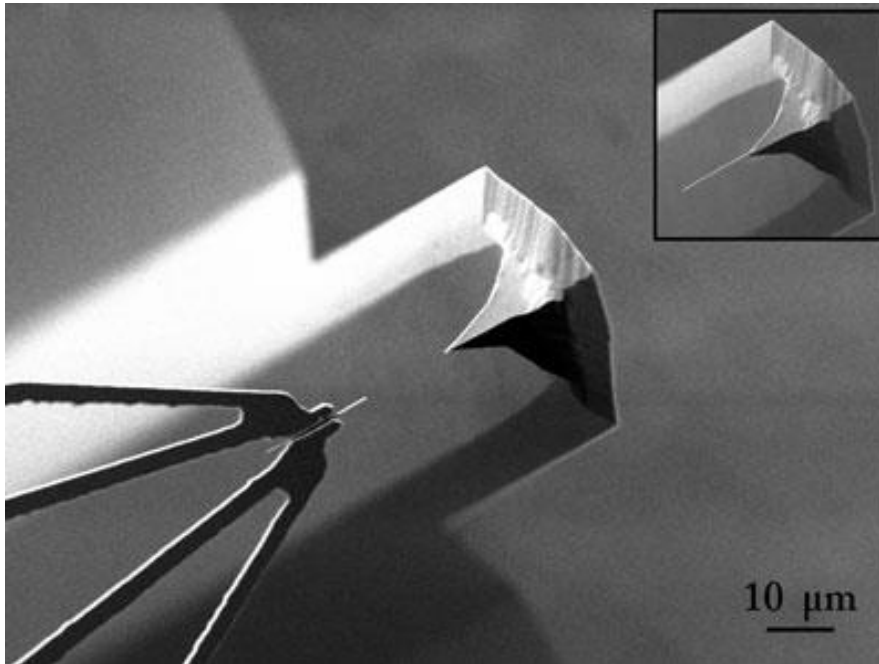
In den meisten Fällen sind die Eigenschaften von Rohren verschiedener Typen im Wesentlichen gleich. Eine Ausnahme bildet die elektrische Leitfähigkeit, bei der diese subtilen strukturellen Unterschiede tiefgreifende Auswirkungen haben können. Zum Beispiel haben alle Sesselrohre - d. H. Mit $m = n$ - eine wirklich metallische elektrische Leitfähigkeit.

Sie transportieren Elektronen entlang der Röhrenachse wie Metalle, ohne ein einziges Metallatom in ihrer Struktur! Dieses Verhalten in einem Molekül ist beispiellos. Im Gegensatz dazu sind die anderen Röhren intrinsisch halbleitend, entweder mit einer sehr kleinen Bandlücke von einigen meV oder mit moderaten Bandlücken in der Größenordnung von 1 eV. Die Regel hier ist, dass diejenigen Röhren, bei denen $(n-m)$ ein Vielfaches von 3 ist, vom Typ mit kleiner Lücke sind, während die anderen mittlere Lücken haben.

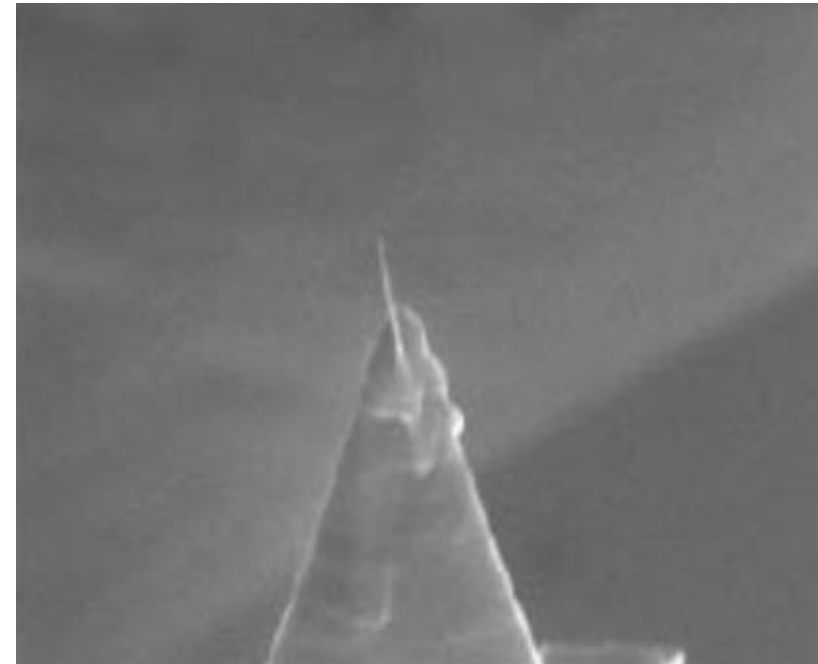


Anwendungsgebiete von CNTs:

Kohlenstoffnanoröhren besitzen viele einzigartige Eigenschaften, die sie zu idealen AFM-Sonden machen. Ihr hohes Seitenverhältnis ermöglicht eine genaue Abbildung tiefer Gräben, während eine gute Auflösung aufgrund ihres Durchmessers im Nanometerbereich erhalten bleibt.



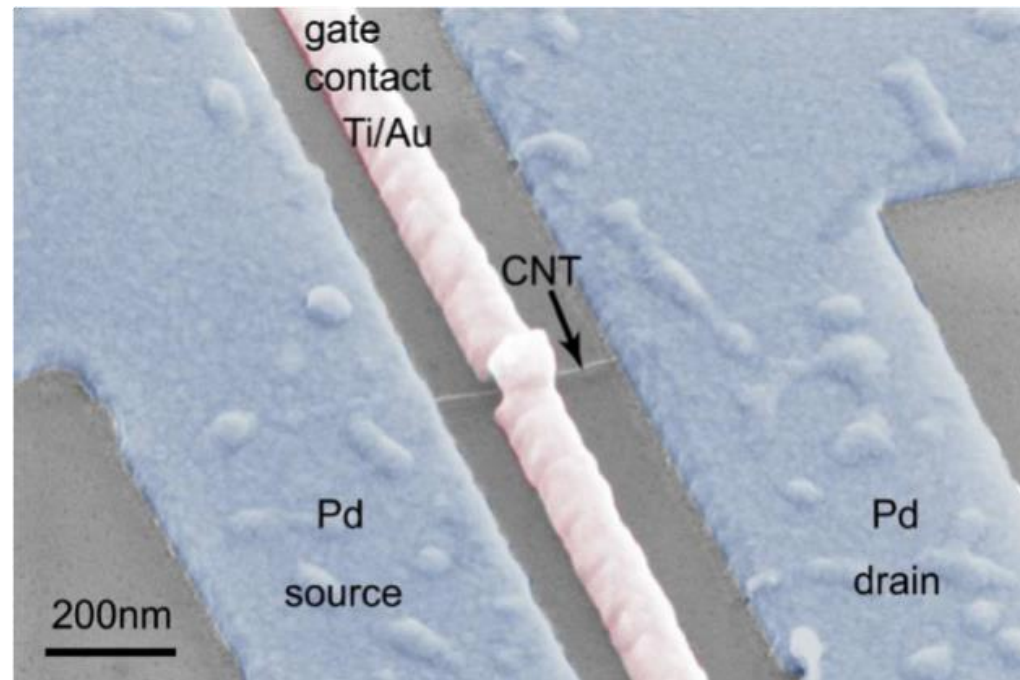
CNT-enhanced AFM super-tips
(Image: ÖzlemSardan, DTU).⁽⁷⁾



AFM Probe Tip.⁽⁸⁾

Anwendungsgebiete von CNTs:

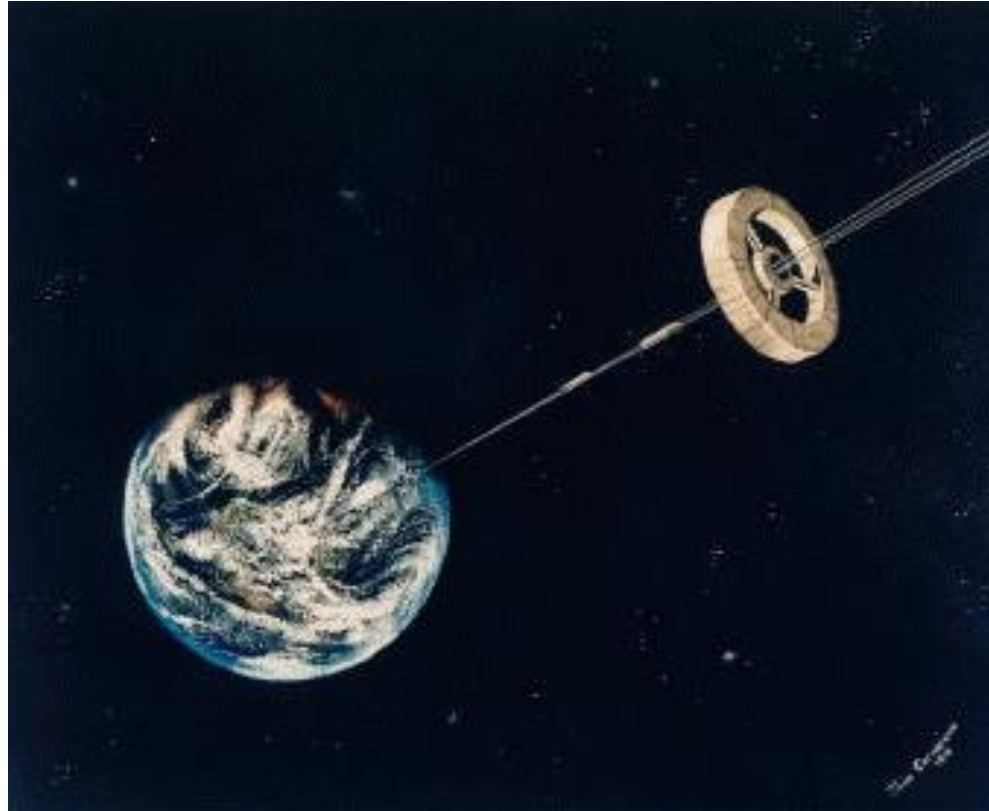
Kohlenstoffnanoröhrentransistoren nutzen die Tatsache, dass Nanoröhren im nm-Maßstab (NT) fertige molekulare Drähte sind und in einen leitenden, halbleitenden oder isolierenden Zustand versetzt werden können, was sie für das zukünftige Design von Nanocomputern wertvoll macht.



CNTs in Schaltkreisen.⁽⁹⁾

Anwendungsgebiete von CNTs:

Kohlenstoffnanoröhren sind heute für ihre zukünftigen elektrischen, thermischen und sogar selektiven chemischen Anwendungen sehr beliebt. Es wird angenommen, dass CNTs in Weltraumaufzügen und als Schutzverpackungsmaterial für die Rohrleitung verwendet werden, die tief unter dem Meer verläuft.



Weltraumaufzug⁽¹⁰⁾

Application areas of CNTs:

The fascinating mechanical and electrical properties of carbon nanotubes can be exploited in many applications, which might include lightweight and strong vehicle or aircraft body with in situ health monitoring and self healing properties, superior aircraft or car brake carbon-carbon composite discs that could dissipate a heat more efficiently, strong and interactive windscreens with de-icing properties.

Even a few percent loading of carbon nanotubes in polymer matrix could make non conductive polymers to conduct electricity and solve many problems with static electricity that could be a spark of fire within a vehicle.

Carbon nanotubes are produced using hydrocarbon gases and catalysts in a similar conditions that exist in a vehicle exhaust systems. It might be possible to produce carbon nanotubes in a vehicle exhaust using catalyst and reducing green house gas emission.

The smart carbon fibre / carbon nanotube body will decreased the car's weight and will also improve performance. The body could also be infused with carbon nanotube epoxy and this will give the body stronger structural and sensing properties.

Carbon nanotube composite materials could be used for the windows, windscreens etc. This will add good electrical conductivity properties and allow the windscreen and windows to be connected to a heater and the car to de-ice easily and quickly.

Carbon nanotubes used in MMC could make an engine weigh less and will also improve structural properties. Carbon nanomaterials could be also used in fuel cells and batteries in hybrid and cars powered by alternative energy.

Carbon nanotube carbon-carbon composites have already been developed for braking applications in aerospace industry. This brakes will add further weigh loss and improved performance.

A nanotube pressure gauge could be installed to measure air pressure in the tyres. The gauge could be very accurate and precise due to the unique electrical and mechanical properties of the nanomaterials.



Transport Applications of Carbon Nanomaterials

Anwendungsgebiete von CNTs:

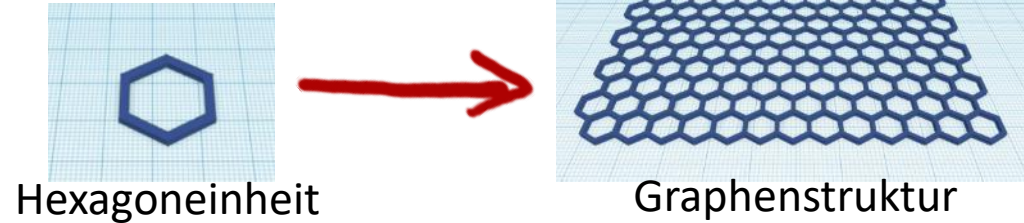
In einem Flugzeugflügel könnte die Leitfähigkeit von Kohlenstoffnanoröhren einen Enteisungs- und Lichtschlagschutz bei Gewichtsreduzierung bieten. Sie könnten die Festigkeit eines Körpers in einem Flugzeug oder Fahrzeug verbessern, das Gewicht verringern und Armeefahrzeuge oder Militärflugzeuge elektromagnetisch unsichtbar machen. Kohlenstoffnanoröhren und Nanofasern könnten Metallen zugesetzt werden, um die Eigenschaften zu verbessern und leichtere Motoren herzustellen. Sie könnten in Reifen anstelle von Ruß verwendet werden, um die Verschleißigenschaften zu verbessern und eine Druckmessung zu gewährleisten.



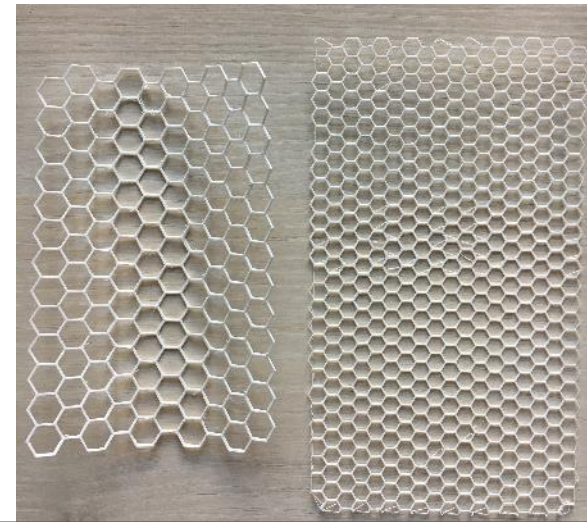
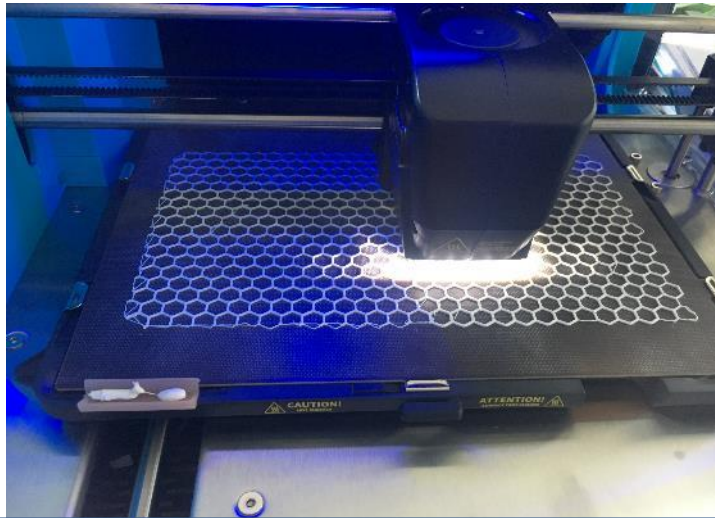
Transportanwendungen von Kohlenstoffnanomaterialien

Erstellen Sie Ihr eigenes Nanoröhrchenmodell:

- Versuchen Sie ausgehend von der hexagonalen Einheit, die Einheitsstruktur des Graphens für den 3D-Druck zu modellieren, und zwar in Bezug auf das, was Sie bisher über die Winkel zwischen den Atomen und die Bindungslängen gelernt haben.



- Drucken Sie Ihr Graphenmodell mit dem 3D-Drucker. Sie sollten Objekte wie die in den folgenden Abbildungen erhalten:



Erstellen Sie Ihr eigenes Nanoröhrchenmodell:

- Versuchen Sie nach dem Drucken, die Flexibilität der Struktur zu überprüfen. Beobachten Sie den großen Unterschied zwischen dieser Struktur und der Diamantstruktur? Denken Sie an Verbindungen zwischen der Struktur und den Eigenschaften!

