

# Schiffe in der Flasche

Exotische, aus bis zu 540 Atomen aufgebaute Riesen-Moleküle, sogenannte Fullerene, könnten nach Ansicht der Fachleute eine „ganz neue Chemie“ begründen: Aus

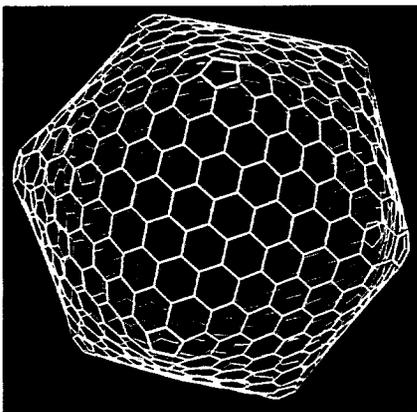
den fußballförmigen Kunst-Molekülen sollen unter anderem Arzneistoffe, Supraleiter, Schmiermittel oder auch Schalter für neuartige „optische Computer“ entstehen.

**D**en Forschern wollte die Röntgenaufnahme einfach nicht gelingen: Mit unvorstellbarer Geschwindigkeit, 18milliardenmal pro Sekunde, drehten sich die kugelförmigen Moleküle um ihre Achse.

Da ersannen die Mitarbeiter der University of California in Berkeley einen Trick: Sie hefteten ein zweites Molekül an ihr bizarres Untersuchungsobjekt. Der molekulare Bremsklotz brachte die wirbelnden Bälle prompt zum Stehen. Dann richteten die Wissenschaftler einen feingebündelten Röntgenstrahl auf die Cluster-Moleküle.

Der Schnapsschuß aus dem Mikrokosmos bestätigte in diesem Frühjahr, daß die durchleuchteten Moleküle „genauso phantastisch aussehen, wie wir sie uns vorgestellt hatten“, so Joel Hawkins, der Leiter des Berkeley-Teams.

Die aus einzelnen Kohlenstoff-Atomen aufgebauten Moleküle, die im Chemielabor planvoll zusammengesetzt wurden und Wissenschaftler weltweit in Aufregung versetzten, sind innen hohl und gleichen, von außen betrachtet, einem millionenfach verkleinerten Fuß-



„Platinball“-Fulleren\*  
Wie Pingpong-Bälle ...

ball. Sie heißen „Fullerene“, benannt nach dem amerikanischen Architekten Buckminster Fuller.

Fuller entwarf einst den „geodätischen Dom“, eine stabile Kuppelkonstruktion aus dreieckigen Zellen. Ebenso hochsymmetrisch sehen die kuriosen Fußball-Moleküle aus – 60eckige Bälle, die aus fünf- und sechseckigen Kohlenstoff-Verbindungen zusammengesteckt sind (chemische Formel:  $C_{60}$ ); es handelt sich, neben den natürlich vorkommenden Substanzen Diamant und Graphit, um die dritte Form reinen Kohlenstoffs.

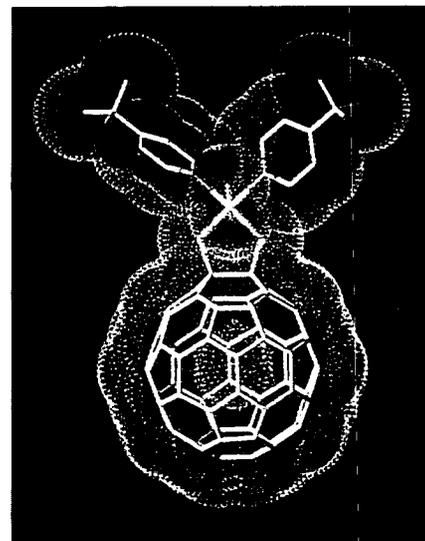
Auf das Verfahren, die neuartigen Kunst-Moleküle gleich grammweise zu erzeugen, waren Wolfgang Krätschmer vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg und sein amerikanischer Kollege Donald Huffman gestoßen (SPIEGEL 7/1991).

In eine luftleer gepumpte Kammer, in der sie zuvor mehrere Graphitstäbe postiert hatten, ließen die beiden Wissenschaftler das Edelgas Helium hineinströmen. Unter Einsatz eines Lichtbogens verdampften sie die Graphitstücke. „Wie Zigarettenrauch“ (Krätschmer) stieg der Kohlenstoff-Dampf empor

und kühlte unter dem Einfluß der Edelgas-Moleküle rapide ab.

Ein Teil der freigesetzten Kohlenstoff-Atome schloß sich dabei unerwartet zu den eigenartigen Fußball-Molekülen zusammen. Aus dem unscheinbaren Staub, der als schwarze Schicht an den Kammerwänden zurückblieb, lösten die Forscher schließlich die faszinierenden  $C_{60}$ -Moleküle heraus.

Schon 1985 waren der Physiker Richard Smalley von der Rice University in Houston (US-Staat Texas) und sein britischer Kollege Harold Kroto den



„Bunnyball“-Fulleren\*  
... gegen Metallwände geschossen

einzigartigen  $C_{60}$ -Molekülen auf die Spur gekommen. Die Frage, wer nach Auswertung der Meßergebnisse die Idee hatte, es könne sich um fußballförmige Moleküle handeln, hat die beiden Wissenschaftler inzwischen restlos entzweit.

Die Forscher waren jedoch nicht in der Lage, Fullerene in größerer Menge zu gewinnen. Erst seit Krätschmer und Huffman ihr wirkungsvolles Verfahren vorstellten, begann ein Wettlauf um Anwendungen in der Mikroelektronik, bei der Kunststoffproduktion oder auch in der Medizin.

150 Forschergruppen befassen sich allein in den USA mit den „Buckyballs“, durchschnittlich 20 Veröffentlichungen erscheinen jede Woche zu die-



Max-Planck-Forscher Krätschmer\*  
Fußbälle aus Rauch

\* Oben: Computer-Darstellungen;  
unten: mit Fulleren-Modell.

sem Thema. Dabei lassen sich die Fußball-Spieler in den Labors immer ausgefalleneren Verwendungszwecke einfallen:

▷ Robert Whetten von der University of California in Los Angeles hat die Kohlenstoff-Kugeln mit einer Geschwindigkeit von 27 350 km/h auf eine Metallwand geschossen – sie prallten wie Pingpong-Bälle unversehrt zurück. „Keine andere Substanz“, betont Whetten, hätte eine derartige Belastung ausgehalten. Fullerene sind deshalb für Anwendungen unter hohem Druck im Gespräch, etwa als eine Art molekulares Kugellager.

▷ Eine Gruppe von Forschern der Du Pont Experimental Station in Wilmington hat gezeigt, daß Fullerene „nichtlineare optische Eigenschaften“ besitzen – ein Lichtstrahl, der durch die eigentümlichen Kohlenstoff-Kristalle hindurchfließt, wird abhängig von seiner Intensität in unterschiedliche Richtungen abgelenkt. Die Fußball-Moleküle kommen deshalb als Schalter für eine künftige Generation sogenannter optischer Computer in Frage.

▷ Buckyball-Entdecker Smalley berichtete, daß sein Team einzelne Atome des Metalls Lanthan in die käfigartigen Kohlenstoff-Moleküle eingesperrt habe, nach Art „winziger Flaschenschiffe“. Die Hohlkugeln ließen sich nach dieser Methode als Behälter für Arzneien in den menschlichen Körper einschleusen, wo sie die Wirkstoffe an den Ort eines Tumors schaffen könnten.

▷ Smalley will zudem nachgewiesen haben, daß Fullerene in ganz unterschiedlichen Größen auftreten – bis hin zu hohlen Molekül-Riesen, die aus 540 Kohlenstoff-Atomen aufgebaut sind. Die Smalley-Gruppe versucht nun, kleinere Käfig-Moleküle in größere einzupacken, im Stil der russischen Puppe in der Puppe.

Vor allem aber könnten Fullerene die organische Chemie nachhaltig verändern. Bisher bilden ring- und kettenförmige Kohlenstoff-Verbindungen die Grundlage für eine kaum überschaubare Zahl von Produkten: Farben, Dünge-

mittel, Arzneimittel und Kunststoffe. Doch während etwa beim Benzol-Ring, Grundlage der modernen Erdöl-Chemie, lediglich sechs Stellen zur Verfügung stehen, um Fremd-Atome einzubauen, sind es bei der Kohlenstoff-Kugel 60. „Eine ganz neue Chemie wird aus den Fullerenen entstehen“, prophezeit der amerikanische Chemie-Nobelpreisträger Donald Cram.

Inzwischen ist es etwa britischen Technikern von den Universitäten Leicester, Southampton und Sussex gelungen, an jedem der 60 Kohlenstoff-Atome je ein Fluor-Atom zu befestigen – aus dem neugeschaffenen Stoff (chemi-

Temperatur-Nullpunktes ein, so müssen die Leiter sehr aufwendig gekühlt werden. Aus diesem Grund galten die vor einigen Jahren entdeckten Hochtemperatur-Supraleiter, die schon bei etwa 125 Kelvin (minus 148 Grad Celsius) arbeiten, als technische Sensation.

Etliche Forschergruppen sind nun dabei, die Fullerene mit verschiedenen Alkalimetallen zu bestücken, in der Hoffnung, damit die Rekordleistungen der keramischen Hochtemperatur-Supraleiter zu übertreffen.

Doch vorerst sind die aus  $C_{60}$ -Molekülen aufgebauten Supraleiter für den praktischen Einsatz noch nicht geeignet.

Die bisher erprobten Verbindungen sind an der Luft mutmaßlich nicht stabil; eine Edelgas-Atmosphäre muß sie vor dem Zerfall schützen.

Nach Auffassung des Chemikers Ed Wasserman ist es für verlässliche Aussagen über die Einsatzchancen der Käfig-Moleküle noch zu früh: „Wir haben es mit einem Baby zu tun.“

Hinzu kommt, wie kritische Stimmen mahnen, daß es auch noch einen „technologischen Morgen danach“ (*Science*) geben könnte: Womöglich werden sich die zusammengemixten Fulleren-Verbindungen als hochtoxisch erweisen. So hat François Diederich von der University of California in Los Angeles herausgefunden, daß die  $C_{60}$ -Moleküle dazu neigen, anderen chemischen Verbindungen Elektro-



Fulleren-Entdecker Smalley: Moleküle wie Puppen in der Puppe

sche Formel:  $C_{60}F_{60}$ ) läßt sich womöglich ein Super-Teflon entwickeln.

Eine völlig unvorhergesehene Eigenschaft der Kohlekugeln entdeckten unterdessen Wissenschaftler der AT&T Bell Laboratories im US-Staat New Jersey, als sie die Fullerene mit Kalium-Atomen spickten: Die Moleküle wurden unterhalb von 18 Kelvin (minus 255 Grad Celsius) plötzlich supraleitend; unter Beimischung der Elemente Rubidium und Thallium trat dieser Effekt sogar schon bei 43 Kelvin ein.

Supraleiter lassen elektrischen Strom ohne Widerstand und damit frei von Energieverlusten passieren – durch Transport und Speicherung geht bei gewöhnlichen Leitern ein erheblicher Teil der eingesetzten Strommenge verloren.

Setzt der Effekt der Supraleitung erst wenige Grade oberhalb des absoluten

nen zu entreißen; auf diese Weise entstehen unter anderem ungebundene Sauerstoff-Atome, die im Verdacht stehen, Zellgewebe zu schädigen.

Inzwischen beflügeln die exotischen Riesen-Moleküle auch die Phantasie von Science-fiction-Autoren: In der Geschichte „Iron“ von Poul Anderson versacken irdische Raumfahrer auf einem fernen Planeten, dessen Oberfläche vollständig mit den Fullerenen bedeckt ist, im rutschigen Kohlenstoff.

Nach der Rettung in letzter Minute finden die Erdenmenschen heraus, daß die geheimnisvolle Substanz in der „Umgebung von Supernovae“ zurechtgebacken wird und von dort aus zu den Planeten gelangt, auf denen der Sternenstaub schließlich eine „zentrale Rolle bei der Entstehung von Leben“ spielt. ◀