

# Neue Modifikationen des Kohlenstoffs: Fullerene

Der Physiker Wolfgang Krätschmer vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg war an der Erforschung dieser neuen Kohlenstoff-Modifikation beteiligt. Darüber berichtete er in den *Mitteilungen der Alexander von Humboldt-Stiftung* (AvH-Magazin Nr. 62, Dezember 1993):

*[Erstaunlicherweise ist] die Entdeckung des C<sub>60</sub>-Moleküls "Nebenprodukt" einer ganz anderen Forschung. [Es] bestand das eigentliche Ziel darin, die chemische Zusammensetzung des interstellaren Mediums zu entschlüsseln. Einer der Entdecker von C<sub>60</sub>, Harold Kroto, wollte erfahren, wie und wo sich im Kosmos große Kohlenstoffmoleküle bilden. Donald Huffman und ich sind auf die Fulleren-Synthese gestoßen, als wir herausfinden wollten, woraus der interstellare Staub besteht...*

*Als Donald R. Huffman von der Universität von Arizona im Jahre 1982/83 als Humboldt-Forschungspreisträger an unserem Institut arbeitete, stießen wir beide bei dem Versuch, "interstellare Graphitteilchen" im Labor zu erzeugen, das erste Mal auf das C<sub>60</sub>-Molekül – freilich ohne es zu wissen. Damals verdampften wir Graphitstäbe durch Widerstandsheizung...*

*... Dabei werden – ähnlich, wie bei den alten Kohlebogenlampen – zwei angespitzte Graphitstäbe gegeneinander gedrückt und ein starker elektrischer Strom durch sie hindurchgeschickt, so daß die Stäbe im Kontaktbereich verdampfen. Um die Kondensation des Kohlenstoffdampfes zu Staubteilchen zu erzwingen, wird die Anlage mit Helium gefüllt – eine seit langem etablierte Technik. Im Betrieb sieht man, wie sich an der heißesten Stelle der glühenden Graphitstäbe eine Wolke von Staubteilchen bildet, die – wie Zigarettenrauch – im Streulicht blau erscheint, und vom Kühlgas getrieben, durch den Rezipienten drifft.*

*... Durch Stöße unterkühlen die Heliumatome den Kohlenstoffdampf und dieser, nun hochübersättigt, kondensiert spontan zu kleinen Teilchen aus. Die Teilchen setzen sich als Ruß im Inneren der Apparatur ab, und man kann sie leicht auf geeigneten Substraten auffangen und spektroskopieren. Die Spektren zeigten zwar gewisse Ähnlichkeiten mit der interstellaren 217 nm Absorption auf, die nicht von Graphitteilchen stammen konnten. Wir fanden dafür keine Erklärung. Ich glaubte an eine Kontamination der Staubteilchen durch Verunreinigungen. Der auf dem Gebiet der Stauberzeugung sehr viel mehr erfahrene Huffman tendierte dazu, die Absorptionen dem Kohlenstoff zuzuschreiben. Er sollte recht behalten. Später stellte sich heraus, daß alle diese Absorptionen vom C<sub>60</sub>-Molekül stammen...*

*Im Jahre 1984 untersuchten Andrew Kaldor und Mitarbeiter vom Exxon Research and Engineering Center in New Jersey das Massenspektrum von laserverdampftem Graphit. Sie erhielten ein unerwartet reiches Spektrum von sehr großen Kohlenstoff-Molekülen (oder, wie man im Fachjargon sagt, von "Kohlenstoff-Clustern"), wenn sie dem Graphitdampf Gelegenheit gaben, in einem Helium-Gasstrom abzukühlen und zu kondensieren. Die größten Cluster bestanden aus mehr als Hundert Kohlenstoffatomen. Harold Kroto von der Universität von Sussex zusammen mit Richard Smalley und seine Mitarbeiter von der Rice Universität in Texas entdeckten 1985 im Massenspektrum dieser großen Kohlenstoff-Cluster ein spezielles Molekül mit außergewöhnlicher Stabilität: das C<sub>60</sub>. Um die "magische" Zahl sechzig zu verstehen, nahmen sie an, daß alle großen Kohlenstoff-Cluster eine in sich geschlossene Struktur besitzen und insbesondere das C<sub>60</sub> die hochsymmetrische Form eines Fußballs haben sollte. Sie gaben dem*

*C<sub>60</sub>-Molekül den schon erwähnten Namen "Buckminster-Fulleren" und haben mit ihrer Entdeckung für beträchtliches Aufsehen gesorgt...*

*Donald Huffman, nun längst wieder in Tucson, vermutete bald nach der C<sub>60</sub>-Entdeckung, daß dieses Molekül der Träger unserer mysteriösen UV-Staubabsorptionen sein könnte. Diese Vermutung erhielt starken Auftrieb, als wir 1988 in Heidelberg das Infrarot-Spektrum der Rußteilchen studierten. Infrarot(IR)-Absorptionen kommen durch Anregung von Schwingungen einzelner Atome im Molekül zustande. Wir bemerkten vier intensive IR-Linienabsorptionen, die zusammen mit den unverstandenen UV-Absorptionen auftraten. Das war sehr aufregend:*

*Für das hochsymmetrische fußballförmige C<sub>60</sub>-Molekül erwartet man nämlich genau ein solches IR-Spektrum. Wir konnten aber nicht vollkommen ausschließen, daß die Spektrallinien von irgendwelchen Verunreinigungen in der Kohle oder im Vakuumsystem stammen konnten. Anfang 1990 glückte es meinem Doktoranden Konstantinos Fostiropoulos, Rußproben zu produzieren, die nicht aus normalem, natürlichem Kohlenstoff (d. h. vornehmlich aus C-12, dem Kohlenstoffisotop mit der Masse 12 amu), sondern ausschließlich aus C-13 bestanden. Infolge der höheren Atommasse erwartet man dabei ganz bestimmte Änderungen in der Wellenlängenposition der IR-Absorptionen. Die Spektroskopie der C-13 Rußproben zeigte genau den erwarteten Effekt, und dadurch war bewiesen, daß die Absorptionen nur von einem großen Kohlenstoff-Molekül und nicht von Verunreinigung irgendwelcher Art stammen konnten. Das war ein ganz entscheidendes Ergebnis. Wir fingen an, die Arbeiten in Tucson und Heidelberg zu koordinieren. Uns war klar, daß wir dabei waren, eine sensationell simple Methode zur "Massenproduktion" von C<sub>60</sub> zu finden. Ohne den zweifelsfreien Beweis für unsere Vermutung zu liefern, würde keiner glauben, daß die präparative C<sub>60</sub>-Darstellung so einfach funktionieren sollte. Dazu war es notwendig, die C<sub>60</sub>-Moleküle vom Ruß abzutrennen. Ein Kollege, der sich wie wir für interstellare Staub interessiert, der Chemiker Dr. W. Schmidt vom Institut für die Erforschung polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Greifenberg am Ammersee, gab mir dazu sehr wertvolle Anregungen. Danach stellte sich selbst für uns Physiker die Extraktion außerordentlich einfach dar: C<sub>60</sub> kann aus dem Ruß durch Sublimation ausgetrieben werden (Temperaturen zwischen 400 und 600 °C sind ausreichend), oder durch Lösungsmittel (z.B. Benzol oder Toluol) ausgewaschen werden. Die Lösung hat eine charakteristische rot-braune Farbe (die Färbung kommt von C<sub>70</sub>, das stets in einem Verhältnis von etwa 10 – 20 % zusammen mit dem C<sub>60</sub> auftritt). Läßt man das Lösungsmittel eintrocknen, bilden sich Kristalle, die in dünnen Plättchen braun und in dicken Schichten metallisch glänzend erscheinen. Die Kristalle bestehen wie auch die Lösung aus C<sub>60</sub> mit einem Anteil von 10 – 20 % C<sub>70</sub>.*

*Die Geschichte der Fullerene ist ein schönes Beispiel, wie oft bei chemischen Entdeckungen der Zufall mit im Spiel ist. Dabei kommt es aber noch entscheidend darauf an, daß die besondere "Merkwürdigkeit" eines Befundes – wie in unserem Fall die Laborspektren der glühenden Graphitstäbe – als solche erkannt wird. Die Entdeckungsgeschichte der Fullerene zeigt auch, wie naturwissenschaftliche Forschung heute von internationaler Zusammenarbeit geprägt ist.*

Gekürzt aus *Highlights aus der Chemie* (Hrsg. R. Häusler, Aulis Verlag). Das Buch wird in der nächsten Ausgabe besprochen.