



## Das 6. Element

---

*Diamanten, Leben, Zivilisation und Zukunft: All das gibt es nur mit Kohlenstoff.*

Wie sehen Aliens aus? Einer, der sich mit dieser Frage ernsthaft beschäftigt hat, ist Ulrich Walter, Professor für Raumfahrttechnik und ehemaliger Astronaut. Seine Antwort: Ob sich außerirdische Intelligenzen selbstständig bewegen können, sei nicht vorhersagbar. Ihre Größe läge zwischen der einer Faust und der eines Dinosauriers. Doch eines steht für ihn unumstößlich fest: Sie müssten hauptsächlich aus Kohlenstoff bestehen, denn nur auf dieser Basis könne sich Leben aus dem Nichts bilden - Silizium beispielsweise biete dazu keine Möglichkeiten. In irdischen Labors gelang es erstmals dem US-amerikanischen Doktoranden Stanley Loyd Miller, aus dem Nichts Vorstufen des Lebens zu schaffen. Er schloss 1953 einfache Moleküle - hauptsächlich Kohlenstoff-haltiges Methan, Ammoniak, Wasserstoff und Wasser - in eine Glaskolben-Apparatur ein und jagte elektrische Entladungen hindurch. Nach einer Woche tummelten sich in einer schmutzig braunen „Ursuppe“ unter anderem einfache Aminosäuren - Grundbausteine des Lebens. Miller wurde berühmt. Generationen von Schülern und Studenten wuchsen mit dem Bild von ihm und seiner Apparatur in ihren Lehrbüchern auf.

Heute ist die Bedeutung seines Experimentes umstritten. Viele Experten bezweifeln, dass die Mischung in seinem Glaskolben die Uratmosphäre der Erde vor mehr als vier Milliarden Jahre richtig nachgeahmt hat. Fehlende geochemische Belege geben Raum für alternative Theorien wie etwa die, dass sich die Moleküle des Lebens nur in Anwesenheit von Tonmineralen oder Eisensulfiden bilden konnten. Noch mehr rätseln die Wissenschaftler weltweit über die Vorstufen, die das Leben von der Ursuppe bis zum ersten Einzeller durchlief. Vor allem suchen sie nach einer plausiblen Antwort auf die Frage: War zuerst das Erbgutmolekül DNS da, ohne das es keine Eiweiße und damit keinen Stoffwechsel gäbe, oder waren zuerst die Eiweiße da, ohne die längere DNS-Ketten nicht fehlerfrei abgelesen werden können?

Unabhängig davon, wie die Lösung dieses Henne-Ei-Problems lautet: Fünf Milliarden Tonnen davon finden sich einer Abschätzung von Mikrobiologen der Universität Georgia in Athens (USA) zufolge allein in den Bakterien, die derzeit auf der Erde leben.

Seine Sonderstellung verdankt das Element 6 im Periodensystem, dem Ordnungsschema der Chemiker, vor allem einer Eigenschaft: Kohlenstoffatome sind außergewöhnlich bindungsfähig mit ihresgleichen. Jedes Atom kann sich mit ein, zwei, drei oder vier gleichartigen Partnern unmittelbar vermählen. So entstehen Ringe, Käfige und Ketten - linear oder verzweigt -, die manchmal mehrere Millionen Atome enthalten. Weil ihnen außer der eigenen Spezies vor allem Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel sympathisch sind, beziehen die Kohlenstoff-Atome diese bevorzugt in ihre Massenhochzeit ein.

Aus nur wenigen Elementen entsteht so eine gigantische Anzahl von Verbindungen: Wie Rechnungen zeigen, gibt es schon für 30 Atome der genannten Elemente  $10^{60}$  (eine Eins mit 60 Nullen!) Möglichkeiten, sich zusammenzuschließen. Der Mensch hat davon nur einen winzigen Bruchteil hergestellt oder analysiert: Die Datenbanken verzeichnen derzeit rund 25 Millionen „organische“ Kohlenstoffverbindungen.

Manche Wissenschaftler sind überzeugt, dass die Quelle des Lebens nicht auf unserem Planeten lag, sondern im Weltraum. Meteoriten oder Kometen sollen Aminosäuren und andere Lebensmoleküle auf die Erde gebracht haben. Tatsächlich konnten Astrophysiker schon in mehreren Teilen des Universums - auch in der Umgebung junger Sterne - organische Moleküle nachweisen. Der Kohlenstoff selbst entsteht bei Temperaturen von über 100 Millionen Grad im Inneren von Sternen. Jeweils die Kerne dreier Heliumatome fusionieren - verschmelzen - zu einem Kohlenstoffatom.

Unabhängig von der Suche nach dem Keim des Lebens hat der Blick ins Universum die moderne Kohlenstoff-Chemie zumindest in einem Fall enorm befruchtet. Anfang der Achtzigerjahre interessierte sich der britische Astrophysiker Harry Kroto vor allem für die „Roten Riesen“ - Sterne, die kurz vor ihrem Ableben stehen. Er hatte Hinweise darauf, dass deren Atmosphäre aus langkettigen Molekülen von Kohlenstoff- und Stickstoffatomen bestehen könnte. Hinfliegen und Proben nehmen konnte er nicht. Daher wandte er sich 1985 an zwei texanische Chemiker, um mit ihnen die vermuteten Verhältnisse nahe der Roten Riesen nachzuahmen.

Bei den Experimenten mit einer damals einzigartigen Laserverdampfungsanlage entstanden kleinste Mengen von erstaunlich stabilen Molekülen, die auf Grund ihrer Masse aus 60 und 70 Kohlenstoffatomen bestehen mussten. Nach einigem Nachdenken waren sich die Wissenschaftler - und späteren Nobelpreisträger - einig, dass es sich um runde, käfigförmige Gebilde handeln müsse. „Mir fielen sofort die geodätischen Kuppelbauten des Architekten Buckminster Fuller ein, die ich auf der Weltausstellung in Montreal gesehen hatte“, so Kroto. Fuller hatte beim Entwurf seiner berühmten Gebäude den Aufbau eines normalen Fußballs kopiert, der aus zwölf Fünfecken und zwanzig Sechsecken besteht. Dass die entdeckten ( $C_{60}$ )-Moleküle aus 60 Kohlenstoff-Atomen - von den drei Forschern Buckminsterfulleren genannt - tatsächlich die vermutete Bauweise aufwiesen, konnte 1990 bewiesen werden, als ein Verfahren zur Herstellung wägbarer Mengen gefunden wurde.

Ein einzigartiger Goldrausch begann: Viele Chemiker glaubten, dass sich aus den molekularen Fußbällen unter anderem Superschmierstoffe, Transporter für Arzneistoffe und neue

Supraleiter - Materialien, die Strom nahezu verlustfrei leiten - herstellen lassen würden. Obwohl inzwischen viele Patente angemeldet wurden, haben sich die Hoffnungen bisher nicht erfüllt. Ob der Durchbruch noch kommt, steht in den Sternen. Doch im Zuge der Fulleren-Entdeckung stießen Chemiker auf weitere, verwandte Strukturen, die vielleicht eine große Zukunft haben: die Kohlenstoff-Nanoröhren.

Sie sind 50-mal zugfester als Stahl, obwohl sie echte Leichtgewichte sind. Was die US-Weltraumagentur Nasa sogar schon von daraus gefertigten Seilen träumen ließ, an denen ein Aufzug zwischen Äquator und einer Raumstation entlanggleiten könnte. Vor allem aber sind sie, abhängig von ihrer genauen Struktur, leitend wie ein Metall oder halbleitend. Kohlenstoff-Röhrchen gelten daher als mögliche Materialien für die Computerchips von übermorgen, deren Bauelemente nur noch wenige Nanometer (Millionstel Meter) groß sind.

Bis Astrophysiker Kroto auf die Fullerene stieß, galt als sicher, dass elementarer Kohlenstoff nur in zwei Gestalten existiert: Zum einen als Grafit, der vor allem in Form der Bleistiftmine in unseren Alltag eingezogen ist, zum anderen als Diamant. 621 Gramm wog das bisher größte bekannte Exemplar, der „Cullinan“. 1906 in Südafrika gefunden, wurden aus ihm 105 geschliffene Edelsteine gewonnen, von denen die größeren heute Teil der britischen Kronjuwelen sind.

Doch Diamanten faszinieren seit langem nicht nur gekrönte Häupter, sondern auch Chemiker. Ende des 19. Jahrhunderts etwa war es wissenschaftliche Mode, nach Wegen zur Herstellung künstlicher Diamanten zu suchen. Wohl der berühmteste Forscher war der Franzose Henri Moissan, der 1906 den Nobelpreis erhielt - in „Anerkennung des großen Verdienstes, den er sich ...durch die Einführung des nach ihm benannten elektrischen Ofens in den Dienst der Wissenschaft erworben hat“. In eben jenem Ofen hatte er es geschafft, Diamantstaub zu synthetisieren.

Heute gibt es zahlreiche industrielle Verfahren, um Diamanten zu erzeugen. Überwiegend basieren sie auf der Umwandlung von Grafit bei extrem hohem Druck und bei Temperaturen bis zu 1400 Grad Celsius. Diamant gilt immer noch als das härteste Material der Welt. Auch wegen seiner sehr guten Wärmeleitfähigkeit und seinen optischen und elektronischen Eigenschaften ist Industriediamant heiß begehrt: als Schleifmittel, abriebfeste Schutzschicht, Kühlkörper für mikroelektronische Bauteile, Fenster für Laser und Mikrowellengeneratoren sowie für Bohr- und Schneidwerkzeuge.

So kostbar und faszinierend die Glitzersteine auch sind - für unseren Alltag viel wertvoller sind andere Kohlenstoff-Quellen. Während die Menschheit jährlich 30 Tonnen Diamant aus den Minen holt und die Industrie künstliche Diamanten in einer Menge von jährlich 20 Tonnen erzeugt, wurde allein 2005 Erdöl in einer Menge von 3,9 Milliarden Tonnen aus den Bohrlöchern gepumpt. Diese komplizierte Mixtur verschiedener Kohlenwasserstoffe gäbe es ohne Leben auf der Erde nicht: Vor vielen Millionen Jahren sanken abgestorbene Meeresorganismen auf den Ozeanboden und bildeten einen Faulschlamm, der unter Sauerstoffabschluss allmählich zersetzt und von weiteren Meeresablagerungen überdeckt wurde: Unter Druck und Wärme entstanden daraus Erdgas und Erdöl.

In Raffinerien wird das Erdöl aufgetrennt in Stoffe, die unsere moderne Gesellschaft antreiben: Benzin, Kerosin, Diesel, Schmierstoffe für Maschinen und Bitumen für den Straßenbau. Eine

weitere Portion dient als Heizöl. Nur ein kleiner Anteil des weltweit geförderten Rohöls - weniger als zehn Prozent - wird von der petrochemischen Industrie verwendet. Sie gewinnt daraus rund 300 Grundchemikalien - die Basis für die meisten Materialien, mit denen wir täglich leben.

Dazu zählen so unterschiedliche Stoffklassen wie Farben und Lacke, Lebensmittelzusätze, Pflanzenschutzmittel, Klebstoffe und Kosmetika. Vor allem aber die - eo der 1980 gestorbene französische Philosoph Roland Barthes - erste „magische Materie, die zur Alltäglichkeit bereit ist“: Kunststoffe. Hätte ein böser Alien die Macht, alle Kunststoffe auf der Erde auf einen Schlag zu vernichten, so würden sofort sämtliche Sicherungen durchbrennen, weil die elektrischen Drähte nicht mehr isoliert wären. Computer, Kaffeemaschine und Fernsehgerät ständen ohne Skelett und Gehäuse da. Das Bett hätte seine Matratze verloren und das heimische Sofa jede Gemütlichkeit. Autos kämen ohne Reifen nicht vom Fleck, zudem wären sie innen komplett ausgeräumt - mitsamt Armaturentafel und Airbag. Weil alle Badehosen und Bikinis verschwunden wären, hätten Voyeure im Schwimmbad freie Sicht. Allerdings nur dann, wenn weder Kontaktlinse noch Brille bräuchten, denn die wären dann auch weg.

Kunststoff-Moleküle sind relativ große Gebilde aus Tausenden von gleichen Atomgruppen, die sich zusammengeschlossen haben. Ihr Rückgrat besteht aus Kohlenstoff. Dagegen sind die Moleküle pharmazeutischer Wirkstoffe zwar kleiner, manchmal aber wesentlich komplizierter aufgebaut. Daher brauchen Chemiker oft 20, 30 oder gar 40 Reaktionsschritte, um sie aus einfachen kohlenstoffhaltigen Grundbausteinen zusammenzusetzen.

Unter Fachleuten gilt es als hohe Kunst, möglichst kurze und effektive Wege zum Zielmolekül zu finden. Ein aktuelles Beispiel ist die Herstellung eines möglichen neuen Antibiotikums, des Platensimycins. Einem kanadischen Wissenschaftlerteam gelang es, mit einer Folge von elf Reaktionen eine Vorläufersubstanz herzustellen, die sie dann mit einer anderen Komponente - in zwei Schritten synthetisiert - zu dem potenziellen Medikament verknüpfte.

Woher aber kannten die Chemiker ihr Zielmolekül und woher wussten sie, dass es auch Bakterien angreift, die gegen viele andere Antibiotika resistent sind? Die Antwort: Ein Pilz - *Streptomyces platensis* - benutzt das Molekül, um seine natürlichen Feinde zu bekämpfen. Doch stellt er es dem Menschen nicht in ausreichenden Mengen bereit, damit dieser es weiter austesten kann - was es nötig macht, es im Labor nachzubauen.

Den Science Fiction Autoren bleibt die Beschäftigung mit der Frage überlassen, inwieweit die Menschheit mit Aliens technologisch mithalten könnte. Chemiker jedenfalls müssten die Konkurrenz ihrer außerirdischen Berufskollegen nicht fürchten. Schließlich hätten die Intelligenzen aus dem All den gleichen chemischen Baukasten zur Verfügung wie wir - sofern Ulrich Walter mit seiner Kohlenstoff-Überzeugung tatsächlich Recht hat.