

**Zeitschrift:** Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin  
**Herausgeber:** Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung  
**Band:** - (1997)  
**Heft:** 32  
  
**Artikel:** Wie ein Fussball vor dem Strafstoss  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-550839>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Wie ein Fussball vor dem Strafstoss

Mit einem selber entwickelten Spektrometer können Physiker der Uni Freiburg die Anordnung von Atomen sichtbar machen, welche Moleküle und Kristalle aufbauen. Es gelang ihnen auch, die Auflagerung der *Footballene* – das sind Riesenmoleküle in Fussballform – auf metallischer Oberfläche zu beobachten.

Spannende Sekunden vor dem Strafstoss: Legt der Spieler seinen Fussball auf ein dunkles Fünfeck? Oder auf ein helles Sechseck? Oder vielleicht auf eine Naht dazwischen? Das Geschehen am Penaltypunkt lässt sich in 250-millionenfacher Verkleinerung auf die Welt der Moleküle übertragen, wo die aus je 60 Kohlenstoffatomen zusammengesetzten runden *Footballene* – sie gehören zur grossen Familie der Fullerene – den Fussball verkörpern. In einem richtigen Spielterrain fände das Experimentierfeld am Physikalischen Institut der Universität Freiburg zehnmillionenmal Platz; freilich besteht es nicht aus kurzgeschnittenem Rasen, sondern aus sorgfältig arrangierten Metallatomen.

Im Labor studiert das Team von Prof. Louis Schlapbach, wie die Footballene auf solcher Unterlage ruhen. «Auf Kupfer beispielsweise liegen die Footballen-Moleküle entweder mit einer Sechseckseite oder mit der Kante zwischen einem Fünfeck und einem Sechseck», berichtet Philippe Aebi, der sich intensiv mit diesen Experimenten befasst. «Zusammen mit Roman Fasel und Raffaele Agostino konnten wir zeigen, dass die Footballene stets die eine oder die andere Form des Kontaktes wählen. Auf Aluminium hingegen, bei etwas grösseren Atomen, lassen sich die Footballene entweder auf einem ihrer Sechsecke nieder oder auf einem der 60 Gipfelpunkte. Diese Gipfel – hier befinden sich die Kohlenstoffatome – entsprechen beim

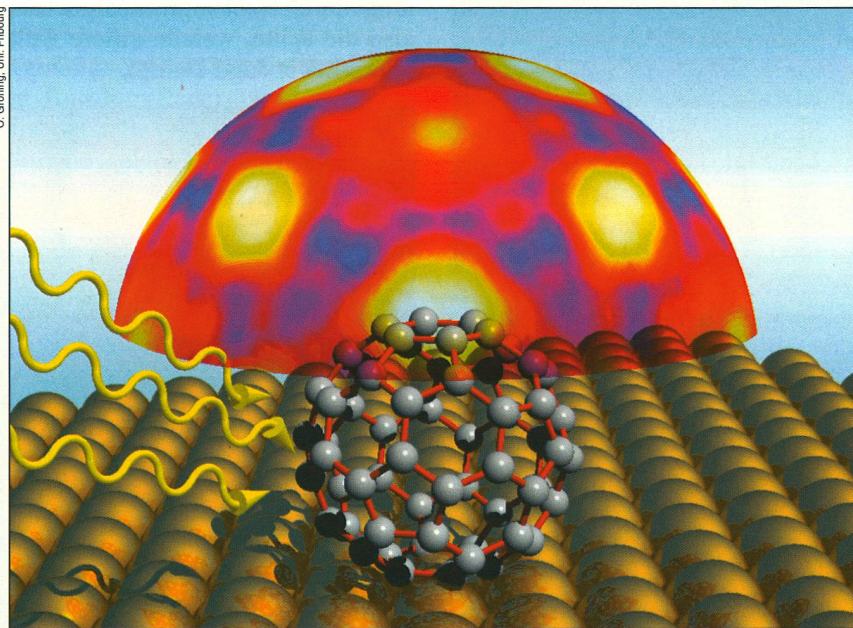
Fussball jenen Stellen, wo drei Nähte zusammenlaufen.»

Ihre Einblicke in die winzige Welt der Atome und Moleküle verdanken die Freiburger Forschenden dem photoelektronischen Effekt. Wird energiereiche Röntgenstrahlung oder ultraviolettes Licht auf ein Atom gerichtet, verliert dieses einige seiner Elektronen. Weil die Elektronen in mehreren Hüllen – Zwiebschalen vergleichbar – um den Atomkern angeordnet sind, lösen sich zuerst die Elektronen der äussersten Hülle. Um dann auch innere Elektronen

freizusetzen, braucht es immer mehr Energieaufwand.

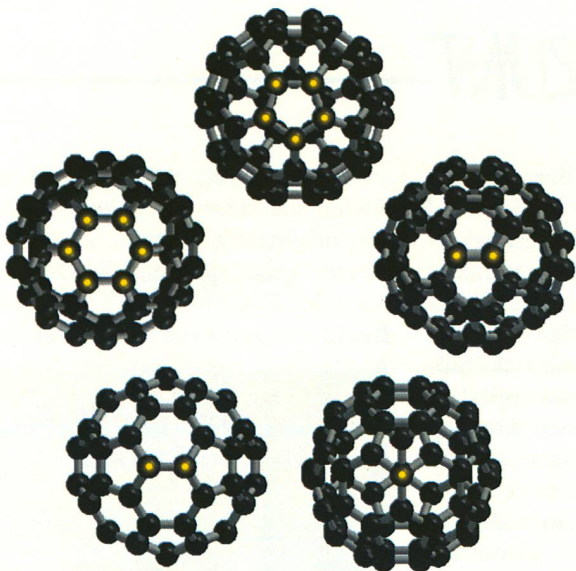
1981 erhielt der Schwede Kai Siegbahn den Physik-Nobelpreis für seine Forschungen über die hochauflösende Elektronenspektroskopie. Damit lässt sich die chemische Zusammensetzung praktisch jeder Substanz bestimmen. In der Folge entdeckte Siegbahn auch noch den Diffraktions-

effekt der atomkernnahen Elektronen: Werden sie freigesetzt, wenden sie sich mit Vorliebe den benachbarten Atomen zu. Verfolgt man nun, im Wissen um den Ausgangspunkt, die Bahn solcher Elektronen, kann man die Lage der umgebenden Atome ermitteln. Dieses Verfahren liegt der Analysetechnik zugrunde, wie sie seit zehn Jahren in Freiburg durch die Professoren Schlapbach und Osterwalder (er lehrt inzwischen an der Universität Zürich) entwickelt wird.



Die Energie von Röntgenstrahlen (gelbe Wellen) setzt Elektronen frei, welche die Anordnung (bunte Kuppel) der 60 Kohlenstoffatome eines Footballen-Moleküls verraten.





Jedes Footballen-Molekül ( $C_{60}$ ) hat fünf verschiedene Möglichkeiten zur Auflagerung. Gelb sind jene Kohlenstoffatome markiert, die mit der Oberfläche in Kontakt treten.

«In unserem Laboratorium haben wir die Technik massgeblich verbessert, indem wir einen in alle Richtungen drehbaren Objektträger konstruierten», erklärt Philippe Aebi. «Er lässt sich nicht nur in horizontaler Richtung, wie eine Töpferscheibe, bewegen, sondern auch bis in die Vertikale kippen. Jede Probe kann so unter 6000 verschiedenen Blickwinkeln beobachtet werden. Ohne eine solche Vorrichtung wäre es nicht möglich gewesen, die Struktur der Fullerene so genau zu analysieren.»

Obwohl eine Probe nur wenige Quadratmillimeter umfasst, enthält sie ungefähr tausend Milliarden Footballen-Moleküle. Es braucht einiges an Raffinesse beim Vorbereiten, um eine regelmässige Dünnschicht von genau einem Molekül zu präparieren. Zwei Möglichkeiten gibt es für die Herstellung solcher Mono-Schichten. Entweder trägt man eine geringe Menge der Substanz in einem Lösungsmittel auf, welches sich bei Umgebungstemperatur verflüchtigt und dann das Deponieren der Footballen-Molekülschicht erlaubt. Oder man entfernt aus einer mehrlagigen Schicht durch Erhitzen auf mehrere hundert Grad alles nicht zur Mono-Schicht gehörende Material. Die Analyse einer Probe dauert zwischen fünf und zwölf Stunden.

Synthetisiert wurden Fullerene erstmals 1985 in den USA an der Rice University von Houston durch den Briten Harold Kroto und den Amerikaner Richard Smalley (Chemie-Nobelpreis 1996). Inzwischen sind die Kohlenstoffbälle zu Stars der internationalen Forschung geworden. Selbst wenn sich die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Fullerene mit ihren speziellen physikalischen und chemischen Eigenschaften erst abzeichnen, lässt sich ihre Entdeckung bereits mit jener des Benzols im 19. Jahrhundert

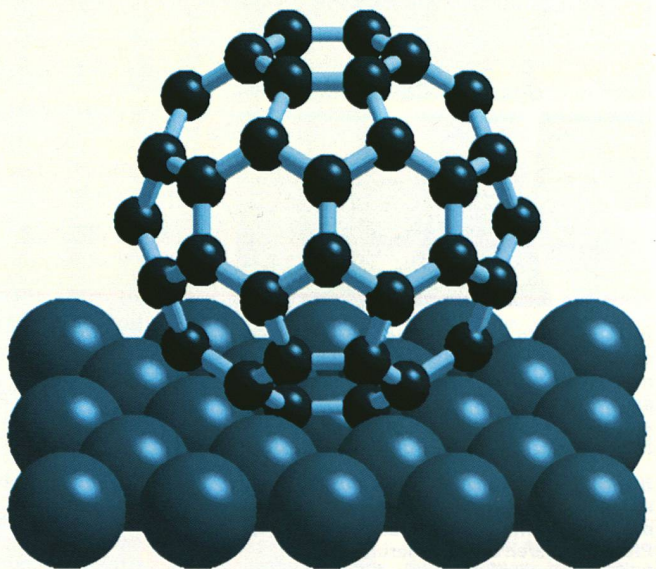
vergleichen: der Geburtsstunde der organischen Chemie und der industriellen Petrochemie.

Gewisse Fullerene besitzen die Besonderheit, dass sie wie Käfige gebaut sind und in ihrem Innern andere Atome gefangen nehmen können. Roman Fasel arbeitet mit einem japanischen Kollegen zusammen, der die Verbindung  $Sc_2@C_{84}$  synthetisiert hat. Die neue Nomenklatur bedeutet, dass zwei Scandium-Atome ( $Sc_2$ ) umfasst sind (@) von einer Fulleren-Käfigstruktur aus 84 Kohlenstoffatomen ( $C_{84}$ ).

## Supraleiter und Quasikristalle

Nachdem Philippe Aebi die Oberflächen von Hochtemperatur-Supraleitern studiert hat, um deren Funktionsweise besser zu verstehen, untersucht er jetzt zusammen mit Dusanka Naumovic den atomaren Aufbau von Quasikristallen. Solche Kunstgebilde der Chemie wurden 1984 entdeckt, konnten bisher aber nur durch Modelle beschrieben werden, die ihrerseits auf indirekten Beobachtungen gründen.

Die quasikristalline Atomstruktur, deren Symmetrie durch ein nichtrepetitives Kristallgitter erzeugt ist, war also noch nie direkt sichtbar gemacht worden. Jetzt aber liess sich in Freiburg der aus Aluminium-, Palladium- und Mangan-Atomen bestehende Aufbau des Quasikristalls mit der Formel  $Al_{70}Pd_{20}Mn_{10}$  direkt studieren. Wie die Fullerene besitzt auch dieses Material aussergewöhnliche Eigenschaften: Hart wie Diamant bei Umgebungstemperatur, wird es gegen 600 Grad Celsius formbar; ausserdem wirkt es fast so stark abstossend auf andere Stoffe wie Teflon. Mit gutem Grund dürfte die Wissenschaft die Quasikristalle im Auge behalten.



Dieses Footballen-Molekül ( $C_{60}$ ) ruht mit einer seiner Sechseckflächen auf der Unterlage.