

## Die epidemische Ausbreitung der Fullerene-Forschung\*\*

Von Tibor Braun\*

Eine kürzlich in dieser Zeitschrift erschienene Übersicht<sup>[1]</sup> veranlaßte mich, die folgenden Ergebnisse von Recherchen zum Publizieren in der Fullerene-Forschung mitzuteilen: Die Ausbreitung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse verläuft im allgemeinen so, daß die Zahl der an ihnen interessierten Wissenschaftler über die Zeit aufgetragen eine S-förmige Kurve ergibt<sup>[2]</sup>. Zu Beginn breitet sich die Grundidee relativ langsam aus. Nach einer gewissen Zeit ist dann ein steiler Anstieg zu verzeichnen, und schließlich tritt ein „Sättigungseffekt“ ein, der sich in einer Verringerung des Ausbreitungs-tempos äußert. Anschauliche Beispiele für diesen Vorgang finden sich bei Goffman et al.<sup>[3, 4]</sup>, die die Übertragung von Ideen als einen epidemischen Prozeß beschrieben. Grundsätzlich basiert ein epidemischer Prozeß im medizinischen Sinn auf dem Übergang von einem infizierbaren in einen infizierten Zustand, wobei der auslösende Faktor der Kontakt mit einer infektiösen Substanz ist. Dieser Prozeß ist nicht nur für Infektionskrankheiten relevant, sondern kann für viele andere Situationen verallgemeinert werden. Es bedarf lediglich der entsprechenden Interpretation der Komponenten Risikogruppe, Gruppe der Infizierten, Quarantäne, infektiöse Substanz, Zwischenwirt, Inkubationszeit, Erkrankung usw. Manchen Ideen gegenüber sind die Menschen empfänglich, anderen gegenüber dagegen resistent. Hat jedoch einmal eine „Infektion“ mit einer Idee stattgefunden, so überträgt der Infizierte diese mit hoher Wahrscheinlichkeit irgendwann auf andere. Ein solcher Vorgang kann eine intellektuelle Epidemie auslösen (Tabelle 1)<sup>[3]</sup>. Die Entdeckung der Fullerene<sup>[5, 6]</sup> und die sich explosionsartig entwickelnde Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet schienen uns ein lohnendes Untersuchungsobjekt als Beispiel für eine intellektuelle Epidemie.

Zunächst wurden mit der CD-ROM-Version des Science Citation Index alle Veröffentlichungen über Fullerene, die zwischen 1980 und 1991 in Zeitschriften erschienen waren, in einer Datenbank erfaßt. Dieser Datensatz umfaßt nur Veröffentlichungen in ca. 600 der wichtigsten Zeitschriften. Danach wurde eine statistische Auswertung durchgeführt. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, nahm die Zahl der Veröffentlichungen zum Thema Fullerene wirklich beeindruckend zu.

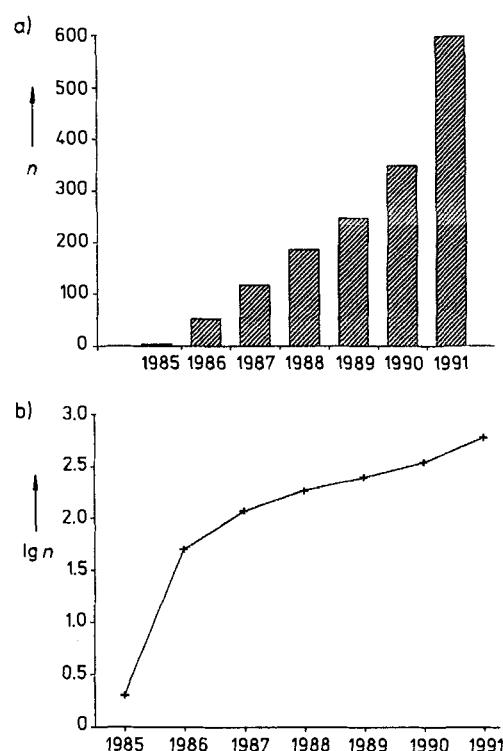


Abb. 1. Wachstum der Zahl  $n$  der Veröffentlichungen zur Fullerene-Forschung seit 1985. a) Lineare Darstellung, b) logarithmische Darstellung.

Tabelle 1. Das Epidemiomodell nach Goffman et al. [3].

| Komponenten des epidemischen Prozesses | epidemische Infektionskrankheiten   | intellektuelle Epidemie   |
|--|---|---|
| auslösende Substanz                    | Erreger (Bakterium/Virus)   | Idee  |
| Gruppe der Infizierten                 | Erkrankter  | Verfasser einer Veröffentlichung                                  |
| Risikogruppe                           | Gruppe derer, die bei engem Kontakt mit einem Erreger infiziert werden können | Leser, die durch Rezeption eines Artikels infiziert werden können |
| Ende                                   | Immunität oder Tod  | Verlust des Interesses oder Tod                                   |

[\*] Prof. T. Braun  
Department of Inorganic and Analytical Chemistry  
L. Eötvös University, P.O. Box 123  
H-1443 Budapest (Ungarn)

[\*\*] Der Autor möchte betonen, daß die hier vorgestellten Daten aus einer Datenbank stammen, die keine vollständige Bibliographie der Fullerene-Literatur ist. Sie enthält jedoch die meisten Originalarbeiten zum Fullerene-Gebiet, die in Zeitschriften mit einem Gutachtersystem erschienen sind. Auch Rückfragen der Redaktion bei zwei Arbeitsgruppen ergaben, daß die in den Tabellen zusammengefaßten Zahlen zum Teil nicht exakt stimmen. Der mit ihnen belegte Trend ist jedoch in jedem Fall richtig.

In den Tabellen 2–5 wird deren Aufteilung nach Herkunfts ländern, Institutionen, Autoren und Publikationsorganen dargestellt.

Wie erwartet, führen die USA mit großem Vorsprung das Rennen an, die nächsten Plätze nehmen Großbritannien, Deutschland, Japan, Frankreich und Schweden ein. Wie in der Grundlagenforschung üblich, stammt ein Großteil der Untersuchungen aus dem Hochschulbereich, doch Tabelle 3 zeigt, daß auch Forschungslabore von Industrieunternehmen auf diesem Gebiet stark engagiert sind. Die „Shooting Stars“ unter den Autoren sind natürlich die Entdecker der Fullerene, doch die Konkurrenz ist zahlreich und aktiv (Tabelle 4).

Die beiden ersten Veröffentlichungen über die wichtigsten Fortschritte in der Fullerene-Forschung sind in *Nature* erschienen<sup>[5, 6]</sup>. Gegenwärtig führen aber vier Chemie-Zeitschriften als Publikationsorgane (Tabelle 5), doch spiegelt die übrige Zusammensetzung der Tabelle (*Zeitschrift für Physik, Astronomy and Astrophysics, Computers and Mathe-*

Tabelle 2. Fulleren-Forschung im Länderwettbewerb.

| Land [a]                        | Veröffent-lichungen | Land             | Veröffent-lichungen |
|---------------------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| USA                             | 484                 | Niederlande      | 6                   |
| England                         | 68                  | Tschechoslowakei | 6                   |
| Bundesrepublik Deutschland      | 46                  | Israel           | 6                   |
| Japan                           | 36                  | Norwegen         | 5                   |
| Frankreich                      | 17                  | Australien       | 4                   |
| Schweden                        | 15                  | Belgien          | 4                   |
| UdSSR                           | 9                   | Österreich       | 4                   |
| Schweiz                         | 9                   | Ungarn           | <4                  |
| Italien                         | 8                   | Polen            | <4                  |
| Jugoslawien                     | 8                   | Rumänien         | <4                  |
| Wales                           | 8                   | Volksrepublik    | <4                  |
| Deutsche Demokratische Republik | 7                   | China            |                     |
| Kanada                          | 6                   | Dänemark         | <4                  |
|                                 |                     | Schottland       | <4                  |

[a] Der im SCI verwendete Länderschlüssel spiegelt die politischen Veränderungen der letzten Jahre noch nicht wider.

Tabelle 3. Institutionen, von denen die meisten Fullerenerveröffentlichungen stammen.

| Institution                             | Veröffent-lichungen | Institution                                     | Veröffent-lichungen |
|---|---------------------|---|---------------------|
| AT & T Bell Laboratories                | 37                  | Sandia National Laboratories                    | 8                   |
| Rice University                         | 37                  | University of Arizona                           | 8                   |
| University of California, Los Angeles   | 25                  | Hokkaido University                             | 7                   |
| University of Sussex                    | 20                  | University of Exeter                            | 7                   |
| Exxon Research & Engineering Corp.      | 14                  | Czechoslovak Academy of Sciences                | 6                   |
| IBM Corp., Almaden                      | 12                  | Dupont Co.                                      | 6                   |
| University of California, Berkeley      | 10                  | University of California, Los Alamos Natl. Lab. | 6                   |
| Chalmers University of Technology       | 9                   | University of Sheffield                         | 5                   |
| University of California, Santa Barbara | 9                   | University of Trondheim                         | 5                   |

Tabelle 4. Autoren mit den meisten Veröffentlichungen in der Fulleren-Forschung.

| Autor          | Veröffent-lichungen | Autor              | Veröffent-lichungen |
|----------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Kroto, H. W.   | 39                  | McElvany, S. W.    | 12                  |
| Smalley, R. E. | 39                  | Chibante, C. P. F. | 12                  |
| Haddon, R. C.  | 20                  | Rosen, A.          | 11                  |
| Diederich, F.  | 19                  | Osawa, E.          | 10                  |
| Curl, R. F.    | 19                  | Krätschmer, W.     | 10                  |
| Slanina, Z.    | 18                  | Rudzinski, J. M.   | 9                   |
| Heath, J. R.   | 18                  | Harter, W. G.      | 7                   |
| Whetten, R. L. | 15                  | Wang, Y.           | 6                   |
| Fowler, P. W.  | 14                  | Wastberg, B.       | 6                   |
| Rubin, I.      | 13                  | Weeks, D. E.       | 6                   |
| Bethune, D. S. | 13                  | Brendsdal, E.      | 6                   |
| Huffman, D. R. | 13                  | Creasy, W. R.      | 6                   |
| Meijer, G.     | 12                  |                    |                     |

matics, *Journal of Materials Research*) deutlich den interdisziplinären Charakter des Themas wider.

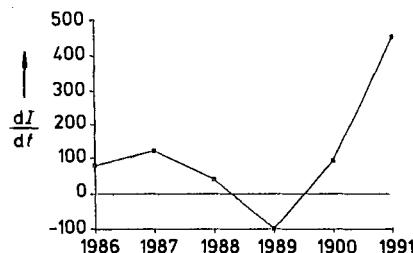
Beim Epidemimodell der wissenschaftlichen Kommunikation in der Fulleren-Forschung haben wir als Risikogruppe alle Wissenschaftler berücksichtigt, die über die zum Einstieg in das Thema nötigen Voraussetzungen verfügen. Als Infizierter *I* in unsere Datenbank aufgenommen wurde ein Wissenschaftler in dem Jahr, in dem seine erste Veröffentlichung zur Fulleren-Forschung erschien. Die Summe aller Verfasser von Arbeiten über Fullerene wurde als Gruppe der Infizierten betrachtet.

Das Goffman-Modell stellt den epidemischen Verlauf anhand von Differentialgleichungen dar, die die zahlenmäßige

Tabelle 5. Die wichtigsten Publikationsorgane für Arbeiten aus der Fulleren-Forschung.

| Zeitschrift   | Veröffentlichungen |
|---|--------------------|
| <i>Chemical Physics Letters</i>                           | 76                 |
| <i>Journal of Chemical Physics</i>                        | 50                 |
| <i>Journal of the American Chemical Society</i>           | 37                 |
| <i>Nature</i>   | 37                 |
| <i>Science</i>  | 27                 |
| <i>Journal of Physical Chemistry</i>                      | 26                 |
| <i>Zeitschrift für Physik D</i>                           | 16                 |
| <i>Astrophysical Journal</i>                              | 14                 |
| <i>Journal of the Chemical Society</i>                    | 14                 |
| <i>Chemical and Engineering News</i>                      | 9                  |
| <i>Physical Review Letters</i>                            | 8                  |
| <i>THEOCHEM</i>   | 8                  |
| <i>International Journal of Quantum Research</i>          | 8                  |
| <i>Thermochimica Acta</i>                                 | 7                  |
| <i>Astronomy and Astrophysics</i>                         | 6                  |
| <i>International Journal of Mass Spectrometry</i>         | 6                  |
| <i>Journal of Chemical Education</i>                      | 6                  |
| <i>Theoretica Chimica Acta</i>                            | 5                  |
| <i>Angewandte Chemie International Edition in English</i> | 4                  |
| <i>Chemical Reviews</i>                                   | 4                  |
| <i>Computers and Mathematics</i>                          | 4                  |
| <i>Journal of Materials Research</i>                      | 4                  |
| <i>Accounts of Chemical Research</i>                      | 3                  |

Entwicklung der Risikogruppe, der Gruppe der Infizierten sowie der Gruppe der Immunen und Toten ausdrücken. Es existieren sowohl stochastische als auch deterministische Versionen dieses Modells. Wir präsentieren hier eine stark vereinfachte graphische Darstellung, in der die Entwicklung der Zahl der Autoren (Infizierten) in Relation zur Zeit gesetzt wird. Abbildung 2 zeigt die entsprechende Kurve ( $dI/dt$  gegen *t*). Ganz deutlich ist ein epidemisches Wachstum erkennbar, dessen Anfang im Jahr 1990 liegt.

Abb. 2. Jährliche Zunahme der Autorenzahl *I* in der Fulleren-Forschung.

Schwieriger zu beantworten ist die Frage, wer die Epidemie nun ursprünglich ausgelöst hat. Obwohl es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um einen synergetischen Prozeß handelt, der durch die Entdeckung im Jahr 1985<sup>[5]</sup> und die intensive Forschung in der Folgezeit in Gang gesetzt wurde, kann der eigentliche Ausbruch der Epidemie eindeutig mit der Veröffentlichung von Krätschmer, Huffman et al. über stabiles  $C_{60}$ <sup>[6]</sup> in Zusammenhang gebracht werden.

Eingegangen am 21. März 1992

- [1] H. W. Kroto, *Angew. Chem.* **1992**, *104*, 113; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1992**, *31*, 111.
- [2] T. Braun, E. Bujdosó, A. Schubert, *The Literature of Analytical Chemistry: A Scientometric Evaluation*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1987.
- [3] W. Goffman, V. A. Nevil, *Nature* **1964**, *204*, 225.
- [4] W. Goffman, *Nature* **1966**, *210*, 786.
- [5] H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl, R. E. Smalley, *Nature* **1985**, *318*, 162.
- [6] W. Krätschmer, L. D. Lamb, K. Fostiropoulos, D. R. Huffman, *Nature* **1990**, *347*, 354.