

Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 89 (2000)

Heft: 2

Artikel: Feuer - Orbitale - molekulare Maschinen

Autor: Zelewsky, Alexander von / Emmenegger, Franzpeter / Piccand, Michel

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308803>

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: 29.01.2026

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

Feuer – Orbitale – Molekulare Maschinen

Alexander VON ZELEWSKY, Franzpeter EMMENEGGER, Michel PICCAND
Institut für Anorganische Chemie der Universität Freiburg.

Die folgende Zusammenfassung versucht, das «CHEMINFOtainment» zusammenzufassen, das im Rahmen der «International Chemistry Celebration» in Zürich, Basel, Lausanne (französisch), Luzern und Freiburg (zweimal) aufgeführt wurde. Der Vortrag wurde durch die Projektion von 45 bewegten Computer-Bildern, durch Musik und 15 Experimente begleitet. Die Autoren hatten die Schwerpunkte der Gestaltung des Anlasses aufgeteilt. Computer-Animation: A.von Zelewsky; Experimente: Konzept: F.P.Emmenegger; Ausführung: M.Piccand.

Zusammenfassung:

An der Schwelle des neuen Jahrtausends möchten wir sie auf eine Zeitreise durch die Entwicklung der Chemie mitnehmen. Der Rote Faden sei das «Feuer».

Nach der griechischen Sage brachte Prometheus den Menschen das Feuer und wurde dafür von Zeus furchtbar bestraft, weil er die Menschen damit den Göttern ähnlicher machte. Die Sage illustriert, dass die gezielte Nutzung des Feuers die Grundlage der menschlichen Kultur ist.

Aufgrund empirischer Erfahrungen haben die Menschen seit einigen tausend Jahren chemische Reaktionen ausgeführt. Sie haben Ziegel gebrannt, Fruchtsäfte vergoren, Tierhäute gegerbt, Metalle aus Erzen gewonnen usw., usw. Aber sie wussten nichts über die naturwissenschaftlichen Hintergründe ihres Tuns.

Einen rationalen Zugang zu chemischen Phänomenen suchte man erst vor etwa 250 Jahren. Henry Cavendish (1731-1810) und Carl Wilhelm Scheele (1742-86) beobachteten beim Experimentieren, dass die Luft aus verschiedenen Gasen besteht, und dass Wasser sich durch die Reaktion zweier Gase, der brennbaren Luft (heute Wasserstoff) und der Feuerluft (heute Sauerstoff) bildet (Cavendish 1784). Cavenish stellte in einer ziemlich gewaltigen Explosion 8.7 g Wasser her, indem er 12 Liter Wasserstoff und 6 Liter Sauerstoff miteinander reagieren liess. Die wichtigste Schlussfolgerung aus dem Experiment: Die klassischen Elemente Wasser, Feuer, Luft und Erde sind gar keine Elemente sondern zusammengesetzte Stoffe.

Um die gleiche Zeit erkannte Antoine Laurent de Lavoisier, dass die Verbrennung die Reaktion der Stoffe mit Sauerstoff ist. Er verbrannte 1775 öffentlich einen Diamanten, indem er ihn im Sonnenlicht mit einer Lupe erhitzte.

Im folgenden Jahrhundert , dem 19ten, wurde die chemische Analyse ständig verfeinert. Man analysierte vor allem Mineralien und entdeckte so die meisten der etwa hundert chemischen Elemente, aus denen das Universum besteht.

1869 schliesslich entdeckten Dimitrij Ivanovitsch Mendelejew und Julius Lothar Meyer gleichzeitig die Periodizität der Eigenschaften der chemischen Elemente und schlugen das in grossen Zügen noch heute übliche «Periodensystem der chemischen Elemente» vor (dargestellt von Hans Erni auf dem Wandbild des grossen Chemie-Hörsaals der Universität Freiburg).

Je mehr man Einblick in die Zusammensetzung der Stoffe erhielt, um so näher lag es, auch die Herstellung von Stoffen, die Synthese, zu versuchen. 1828 wurde von Friedrich Wöhler Harnstoff durch Erwärmen des anorganischen Salzes Ammoniumcyanat synthetisiert und damit der Beweis erbracht, dass man im Laboratorium Stoffe herstellen kann, die identisch sind mit denen, die lebende Organismen produzieren. Im Naturstoff steckt also offensichtlich keine besondere «vis vitalis», es braucht für seine Synthese keinen «élan vital». Viele empfanden die Labor-Synthese von Naturstoffen als einen Eingriff in Gottes Schöpfung und die Ängste waren vergleichbar mit denen, die hundertfünfzig Jahre später die Gentechnologie erzeugte.

Die Erfahrungen von Analyse und Synthese wurden von August Kekulé von Stradonitz (1858) und von Jakobus Hendricus van't Hoff (1874) in einer Valenztheorie der organischen Chemie systematisiert. Man kannte nun die Regeln, nach denen die Atome in Verbindungen der organischen Chemie angeordnet sind, hatte aber noch keine Vorstellung davon, wie die Atome aufgebaut sind, und was sie zusammenhält. Man konnte sie als kleine Kugeln mit Haken betrachten: Kohlenstoff mit vier Haken, Sauerstoff mit zwei, Wasserstoff mit einem Haken. Erst um die Jahrhundertwende begann man, auch die Struktur der Atome zu verstehen.

1911 zeigte Ernest Rutherford in seinem berühmten Goldfolienexperiment, dass die Masse der Atome in ihrem Kern konzentriert ist. Sein Durchmesser beträgt nur etwa einen Zehntausendstel des Atomdurchmessers. Weit weg vom positiv geladenen Kern befinden sich die negativ geladenen Elektronen, die sich nach dem Modell von Niels Bohr (1913) um den Kern bewegen wie die Planeten um die Sonne. Betrachten wir Erde und Sonne so entspricht das auch etwa den relativen Größenverhältnissen, d.h. die Elektronen sind wirklich sehr weit weg vom Kern. (ϕ Sonne: $1.4 \cdot 10^5$ km, Erde-Sonne $1.5 \cdot 10^9$ km, also ca. $10'000 \times \phi$ Sonne)

Wenn die Elektronen so weit weg sind vom Kern, muss die Bindung zwischen zwei Atomen, die chemische Bindung, als die Überlappung der Elektronenhüllen der beiden Atome interpretiert werden.

Das Verständnis der chemischen Bindung wurde im Verlauf des zwanzigsten Jahrhunderts enorm verfeinert. Es war offensichtlich, dass das Modell des kreisenden Elektrons den Gesetzen der klassischen makroskopischen Physik widersprach, denn das Elektron würde Energie abstrahlen und schliesslich in den Kern fallen. Die Erforschung der Strahlung heißer Körper und heißer Atome (Max Planck 1900) führte zu einem Atommodell, wo das Elektron nicht als bewegte Punktladung sondern als stehende Welle beschrieben wird (Louis de Broglie, 1924; Werner Heisenberg, 1925). Mit den Wellenfunktionen (Erwin Schrödinger, 1926) kann man die Verteilung der negativen Elektronenladung um den Kern berechnen. Wenn man alle Punkte gleicher Ladungsdichte miteinander verbindet, erhält man Oberflächen, die verschiedenen Formen haben können. z.B. Kugeln, Hanteln etc. In Anlehnung an das kreisende Elektron

des Bohr'schen Modells nennt man diese Oberflächen «Orbitale». Diese Orbitale sind für den Chemiker ein sehr nützliches Modell, um die Bindungsverhältnisse in Molekülen zu veranschaulichen.

Die Einsicht in die Natur der chemischen Bindung und die enorme Rechenkapazität moderner Computer ermöglichen immer mehr, die Eigenschaften von Verbindungen vorauszusagen, bevor sie in Substanz hergestellt worden sind. Damit wird es möglich, Moleküle mit gewünschten Eigenschaften zu konstruieren. Der nächste Schritt wird sein, komplexere Molekülsysteme zu berechnen und zu konstruieren, welche dank der richtigen Kombination von Eigenschaften komplexere Aufgaben erfüllen können. Wir bezeichnen heute solche komplexen Molekülsysteme als Molekulare Maschinen. Im Internet findet sich zu diesem Thema ein Eintrag mit dem bezeichnenden Titel «Prometheus returns».

Die Natur hat es längst verstanden, solche Molekulare Maschinen zu bauen, z.B. den Blutfarbstoff Hämoglobin, der den Sauerstoff von der Lunge zur Zelle bringt, wo die energiespendende Verbrennung stattfindet. Weil in der Natur die Entwicklung Molekularer Maschinen Jahrmillionen dauerte, werden die Menschen einen neuen Weg zu solchen Substanzen finden müssen. Erfolgversprechend ist der Weg, molekulare Bausteine zu wählen, die sich – den kinetischen und thermodynamischen Gesetzen folgend – selbst zu komplexen Strukturen organisieren, die dann vielfältige neue Funktionen ausüben. An die Selbstorganisation muss die Selbstreplikation anschließen, damit die interessanten Strukturen auch in grossen Mengen zur Verfügung stehen. Der Phantasie sind hier kaum Grenzen gesetzt. Erste, erfolgreiche Schritte sind getan, und die Chemiker sind – wie immer – auf dem Weg.