

Oberflächenchemie, Knockout-Mäuse und Magnetowiderstand

Nach 19 Jahren erhält wieder ein deutscher Wissenschaftler den Chemie-Nobelpreis:

Gerhard Ertl für seine Untersuchungen zu Prozessen an Festkörperoberflächen.

Der Nobelpreis für Physik geht an Albert Fert und Peter Grünberg. Beide hatten unabhängig voneinander den Riesenmagnetowiderstand entdeckt. Den Nobelpreis für Medizin erhalten Mario Capecchi, Martin Evans und Oliver Smithies.

Chemie 2007

◆ Der diesjährige Chemie-Nobelpreis zeichnet eine Persönlichkeit aus, welche die Oberflächenwissenschaften wie kein anderer geprägt hat. Gerhard Ertl, emeritiertes wissenschaftliches Mitglied und Direktor am Fritz-Haber-Institut (FHI) der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin, hat als „wissenschaftlicher Urenkel“ des Institutsgründers und Namensgebers an seinem 71. Geburtstag, dem 10. Oktober 2007, von dem großen Preis erfahren, den er ungeteilt erhält. Spontan wurde er vom gesamten Institut und seinen herbeigeeilten Freunden und Mitarbeitern in Anwesenheit eines ganzen Geschwaders von Journalisten ausgiebig gefeiert.

Der letzte Nobelpreis für das FHI war 1986 an Ernst Ruska für die Erfindung der Elektronenmikroskopie gegangen. In der nahezu 100-jährigen Geschichte arbeiteten zuvor vier weitere Nobelpreisträger am Institut: Fritz Haber, James Franck, Otto Hahn und Max von Laue.

Wissenschaftlicher Urenkel Fritz Habers

◆ Gerhard Ertls Doktorvater, Heinz Gerischer, Vorgänger als Direktor am FHI, war Schüler von Karl Friedrich



Der Nobelpreisträger spricht: Gerhard Ertl auf der Pressekonferenz kurz nach der Zuerkennung des Nobelpreises für Chemie 2007.

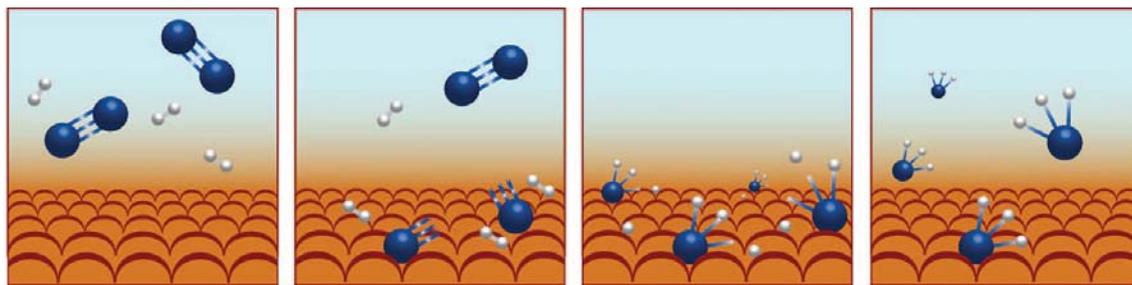
(Foto: Max-Planck-Gesellschaft)

Bonhoeffer, Institutsdirektor unseres Instituts nach dem letzten Weltkrieg, der seinerseits Mitarbeiter von Fritz Haber gewesen ist. Auch wissenschaftlich schließt sich hier ein Kreis: Haber hatte in den Jahren 1905 bis 1908 zur Gewinnung von Ammoniak aus dem Stickstoff der Luft den Prozess entdeckt, der dann Bosch bei der BASF zur technischen Reife brachte. Haber erhielt dafür 1918 den Nobelpreis mit dem Hinweis, dass die Möglichkeit, Düngemittel zu produzieren, Europa vor einer bevorstehenden Hungersnot bewahrte.

Die folgenden mehr als fünfzig Jahre waren davon geprägt, zu verstehen, nach welchem Mechanismus die stärkste bekannte Bindung zwischen zwei Atomen im N_2 -Molekül auf der Oberfläche eines eisenbasierten Katalysators bricht. Noch 1975 stellt Paul Emmett, selbst ein eminenter Physikochemiker, fest: „Die bisherigen experimentellen Arbeiten der vergangenen 50 Jahre haben uns gelehrt, dass der geschwindigkeitsbestimmende Schritt in der Ammoniaksynthese die Chemisorption von molekularem Stickstoff ist. Die Frage allerdings, ob die sich an der

Ablauf der Haber-Bosch-Ammoniaksynthese (von links): Wasserstoff und Stickstoff adsorbieren aus der Gasphase an eine Eisenoberfläche. Mit den von ihm entwickelten Methoden zeigte Ertl, dass die Bindung im Stickstoff bricht und die Moleküle in einzelne Atome zerfallen. Diese diffundieren auf der Oberfläche und verbinden sich sukzessive zu NH , NH_2 und schließlich NH_3 . Ammoniak bindet verglichen mit den anderen Stickstoffspezies nur schwach an die Eisenoberfläche und desorbiert daher in die Gasphase.

(Grafik: Francesca di Pasquale)



Oberfläche befindliche Spezies (die dann hydriert wird) atomar oder molekular vorliegt, ist noch nicht überzeugend beantwortet.“

Kurz darauf zeigten Gerhard Ertl und seine Gruppe über die bis dahin entwickelten Methoden des neuen Feldes der Oberflächenchemie, dass es sich bei der stufenweise hydrierten Spezies um atomaren Stickstoff handelt. Diese Arbeiten machten die Gabe Gerhard Ertls, die Essenz eines komplexen Vorgangs in ein einfaches Experiment zu gießen, besonders deutlich. Das Geheimnis des Mechanismus war etwa 70 Jahre nach der Entdeckung durch Haber gelüftet.

Atomare Struktur und Dynamik von Festkörperoberflächen

◆ Die Suche nach dem Verständnis der atomaren Struktur und Dynamik von Festkörperoberflächen unter der Einwirkung von Adsorbaten (häufig Molekülen aus der Gasphase) prägte die Forschung Gerhard Ertls. Er hat dazu immer wieder neuartige Methoden adaptiert oder entwickelt und sie in beispielgebender Weise miteinander kombiniert, um „physikalisch exakte“ Aussagen zu gewinnen.

Eine der am intensivsten studierten Reaktionen in Ertls Arbeitskreis war die Oxidation von Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid auf Übergangsmetalloberflächen. Schon 1982 berichtete seine Gruppe von kinetischen Oszillationen in der CO_2 -Produktion auf metallischen Einkristalloberflächen – ein Phänomen, das man bisher nur in katalytischen Reaktionen beobachtet hatte.

In einer Reihe von bahnbrechenden Publikationen zeigte die Gruppe den Zusammenhang zwischen der

Adsorption von Kohlenmonoxid und Sauerstoff, die zu einer Rekonstruktion der Oberfläche führt; die Reaktion und die höhere Haftwahrscheinlichkeit von Sauerstoff der nicht rekonstruierten Oberfläche führt zu einem Hin- und Herschalten zwischen rekonstruierter und nicht-rekonstruierter Situation und somit zu kinetischen Oszillationen. Solche Oszillationen können regulär sein, aber auch irregulär und chaotisch werden. Diese zeitlichen Oszillationen repräsentieren das integrale Verhalten des Systems. Wir wissen aber von den seit langem bekannten Belousov-Zhabotinsky-Reaktionen, dass Oszillationen zu räumlichen Strukturen führen.

Femtosekundenspektroskopie und Raman-Streuung

◆ Um raum-zeitliche Strukturen auf Oberflächen unter Reaktionsbedingungen abzubilden, entwickelte der Arbeitskreis ein neuartiges Photoelektronenemissionsmikroskop, mit dem es erstmals gelang, sich zeitlich ändernde räumliche Strukturen, wie Spiralen, chemische Wellen usw. abzubilden. Zusammen mit Theoretikern gelang die Modellierung dieser nicht-linear dynamischen Strukturen.

Wenn man sich für die Analyse chemischer Prozesse an Festkörperoberflächen auf atomarem Niveau, also bei höchster räumlicher Auflösung, interessiert, liegt es nahe, sich auch mit einer Erhöhung der zeitlichen Auflösung bei der Betrachtung dynamischer Prozesse zu beschäftigen. Gerhard Ertl rief innerhalb seiner Abteilung im FHI eine Gruppe ins Leben, die sich mit Pump-Probe-Experimenten mit Lasern bei einer Femtosekunden-Zeit-

auflösung befasst. Diese Experimente führten zu tiefen Einsichten in die Elektronendynamik bei Energieübertragungsprozessen in chemischen Reaktionen nach Lichtanregung.

Ein herausragendes Beispiel für eine neue „alte“ Methode, neben den umfangreichen elektrochemischen Aktivitäten, die Gerhard Ertl vorangetrieben hat, ist die spitzenverstärkte Raman-Streuung. Hier gibt es erste klare Hinweise aus seiner Gruppe, dass man die Empfindlichkeit in den Bereich einzelner Moleküle bringen kann. Daraus können sich bedeutende weitere Perspektiven in vielen Bereichen aktueller physikalischer Chemie an Oberflächen ergeben.

Es gäbe viele weitere Aspekte, die man erwähnen müsste, aber Gerhard Ertls *œuvre* ist einfach zu umfangreich, um es hier mehr als nur schlaglichtartig zu beleuchten: Die Veröffentlichungsliste umfasst mehr als 700 Arbeiten. Daneben hat er viele hundert eingeladene Vorträge gehalten. Eine Zusammenstellung vieler persönlicher Informationen bis 2004, dem Jahr seiner Emeritierung, findet man in der Festschrift zu seinem 68. Geburtstag [vgl. auch das *Wer ist's?*, *Nachr. Chem. Tech. Lab.* 1988, 36, 63].¹⁾

Die Liste seiner Auszeichnungen ist lang: Liebig-Medaille, Japan-Preis, Wolf-Preis, Otto-Hahn-Preis, Ehrenmitgliedschaft der Bunsengesellschaft und viele mehr. Etwa 40 Namens-Vorlesungen und viele ehrenamtliche Aufgaben innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft zeugen von dem außergewöhnlichen Ansehen und Vertrauen, die Gerhard Ertl genießt. Und jetzt die wohlverdiente Krönung!

Von Stuttgart über München nach Berlin

◆ Gerhard Ertl wurde 1936 in Bad Cannstatt geboren und studierte in Stuttgart Physik. Dort diplomierte er 1961 und fertigte bei Heinz Gerischer, damals am Max-Planck-Institut für Metallforschung, die Dissertation an. Er wurde 1965 promoviert und ging mit seinem Doktorvater an die TU München, wo er sich in nur zwei Jahren habilitierte. Danach nahm er einen Ruf auf einen Lehrstuhl für Physikalische Chemie in Hannover an. Nach etwa fünf Jahren folgte er einem Ruf an die LMU München. 1985 wurde er Nachfolger seines Lehrers Heinz Gerischer als Direktor des Berliner Fritz-Haber-Instituts der Max-Planck-Gesellschaft. Diese Position hatte er bis zu seiner Emeritierung 2004 inne.

Gerhard Ertl ist für uns im Institut ein wunderbarer Kollege, Freund und – seit seiner Emeritierung – Berater. Seine Teilnahme am Institutslieben hat sich naturgemäß geändert, aber nur insofern, als dass er sich aus der Leitung des Instituts zurückgezogen hat. Wir freuen uns, dass er täglich im Institut anzutreffen ist.

Man hört, er springe häufig bei den Chorproben seiner Frau Barbara als Pianist ein. Er spielt wunderbar Klavier und Cembalo. Nach der kürzlich von ihm an der Cornell University gehaltenen Baker-Lecture schreibt er zurzeit an einem Buch. Die Überarbeitung der zweiten Auflage des *Handbook of Heterogeneous Catalysis* ist wohl schon fast abgeschlossen. Seine Aktivität ist ungebrochen und wir sind sicher, dass dies noch lange so bleiben wird.

Alle Kollegen, Freunde, Schüler und Mitarbeiter gratulieren Gerhard Ertl zum Nobelpreis für Chemie 2007 und freuen sich mit ihm. „Herzlichen Glückwunsch“ und alle guten Wünsche.

*Hans-Joachim Freund
Fritz-Haber-Institut der
Max-Planck-Gesellschaft*

1) *Festschrift*, J. Phys. Chem. B 2004, 108, 14183.

Physik 2007

◆ If you use a notebook computer, a MP3 player, or other hand-held electronic devices, very likely you use the outcome of the discovery which earned Albert Fert (CNRS/Thales Laboratory and Université Paris-Sud, Orsay, France) and Peter Grünberg (Forschungszentrum Jülich) this year's Physics Nobel Prize: the giant magnetoresistance (GMR).

Since decades, the most efficient and economical information storage principle is the magnetic storage, in which information is coded as the direction of magnetization of magnetic domains in a magnetic medium. Until 1990, however, the progress of hard-disk capacity was restricted by the inductive read-out method that was used at the time. As an alternative method, a magnetoresistive read-out appeared more promising.

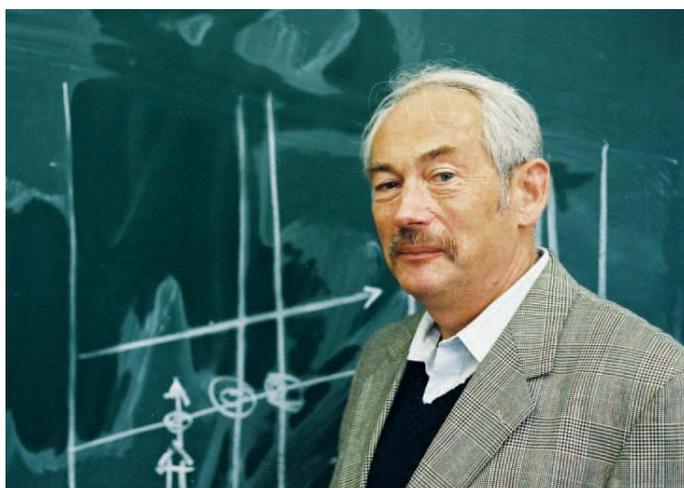
Magnetoresistance

◆ The magnetoresistance is the change of electrical resistance of a conductor when subjected to an external magnetic field. In bulk ferromagnetic conductors, the leading contribution to the magnetoresistance is due to the anisotropic magnetoresistance (AMR) discovered in 1857 by William Thomson (Lord Kelvin). This originates from the spin-orbit interaction, which leads to a different electrical resistivity for a current direction parallel or perpendicular to the magnetization direction. As a magnetic field is applied, misoriented magnetic domains tend to align their magnetization along the field direction, giving rise to a resistance change by less than 1%. Until 1988, the 130 years old AMR remained the most important contribution to the magnetoresistance of ferromagnets. The situation at that time is best summarized by the following pessimistic quotation, taken from an authoritative treatise on magnetic sensor technology written in 1988: “More than two decades of



Albert Fert

Foto: Christophe Lebedinsky, CNRS Photothèque



research and development have established the principle of magnetoresistive sensors. (...) It is doubtful, however, whether magnetoresistive layers themselves will be improved considerably in the coming years.”¹⁾

Breakthrough in 1988

◆ It was therefore a great breakthrough when, in 1988, Albert Fert and Peter Grünberg independently discovered that a much greater magnetoresistive effect (hence dubbed “giant magnetoresistance” or GMR) can be obtained in magnetic multilayers.^{2,3)} These systems essentially consist of an alternate stack of ferromagnetic (e.g., Fe, Co, Ni, and their alloys) and non-ferromagnetic (e.g., Cr, Cu, Ru, etc.) metallic layers. Each individual layer in these multilayers is only a few atomic layers thick.

