



Deutsche  
Forschungsgemeinschaft

**Jahresbericht 2006**

Aufgaben und Ergebnisse

**DFG**

## „Heiratsvermittler“ der Chemie: die Katalyse

**Literarisch beschreibt Goethes Roman „Wahlverwandtschaften“ das Phänomen der Katalyse am besten: Hier finden Menschen, die füreinander bestimmt sind, entgegen aller sozialen Hindernisse zueinander. Auch in der Chemie müssen zueinander passende Stoffe vor ihrer „wahlverwandtschaftlichen“ Verbindung mithilfe eines Katalysators (Energie-)Barrieren überwinden. In vielen DFG-Projekten spielt die Katalyse eine große Rolle; 2006 erhielt Professor Matthias Beller für seine Forschungen auf diesem Gebiet sogar den Leibniz-Preis.**

Was haben Enzyme in der Zelle, der Katalysator im Auto und das „Cracking“ von Erdöl in wichtige Ausgangsprodukte für die chemische Industrie gemeinsam? Sie alle funktionieren nach dem gleichen Prinzip: der Katalyse. Dabei wirkt – in der Regel in kleinsten Mengen – ein Katalysator, der die Reaktion beschleunigt und dabei im Idealfall unverändert bleibt. Im Chinesischen lautet der Name für Katalyse „Zuo mei“, was sowohl „Hebamme“ als auch „Heiratsvermittler“ heißen kann. So steht der Begriff für beide Vorgänge der

Katalyse: das Lösen von Bindungen innerhalb von Molekülen – und die Verkuppelung von Partnern zu einer neuen, chemischen Verbindung.

Relevant für Wirtschaft,  
Politik, Gesellschaft

In der Chemie ist die Katalyse untrennbar mit dem Namen Wilhelm Ostwald verbunden, der 1909 den Nobelpreis für seine Forschungen auf diesem Gebiet erhielt. Seine Erkenntnisse hatten weit reichende ökonomische, gesellschaftliche und sogar politische Folgen. Ein Beispiel ist das 1913 zur industriellen Reife gebrachte Haber-Bosch-Verfahren zur Herstellung von Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff. Dessen industrielle Gewinnung ermöglichte nicht nur die Produktion von Düngemitteln und sicherte so die Ernährung der deutschen Bevölkerung im Ersten Weltkrieg, sondern hatte wegen seiner Rolle bei der Sprengstoffherstellung auch großen Einfluss auf die Rüstungsindustrie. Katalysatoren des Ziegler-Natta-Typs waren maßgeblich an der Produktivitätssteigerung bei der Herstellung spezieller Polymere beteiligt und verhalfen dem



*Heiratsvermittlung im Reagenzglas: Die Katalyseforschung verspricht neue Einsichten darüber, wie Stoffe interagieren*

bekanntem Kunststoff Polypropylen zu seinem heutigen Status eines erschwinglichen Massenprodukts.

Derzeit basieren über 80 Prozent der klassischen chemischen industriellen Verfahren auf Katalyse. Untersuchungen zufolge beruhen 25 Prozent des Bruttosozialprodukts aller westlichen Industrienationen auf katalytischen Prozessen. Trotz intensiver Bemühungen gelingt es dennoch nur in Ausnahmefällen, Katalysatoren maßzuschneidern. „Die Chemie nähert sich der Frage nach dem besten Katalysator meistens empirisch“, sagt Helmut Schwarz, Professor für Chemie an der Technischen Universität Berlin und Vizepräsident der DFG. Etliche Mechanismen konnte die Wissenschaft in oft langwierigen und aufwendigen Prozessen zwar inzwischen klären, doch bleiben viele fundamentale Fragen offen. Um Antworten zu finden, nähert sich das Team von Schwarz an der TU Berlin, aber auch andere DFG-

geförderte Arbeitsgruppen, der Katalyse aus einer mehr ganzheitlichen, interdisziplinären Perspektive. Synthetisch und theoretisch arbeitende Chemiker, Physiker und nicht zuletzt Biologen erstellen für eine bestimmte Reaktion gemeinsam ein Modell, das die Vorhersage von Katalysatoreigenschaften – und als Fernziel vielleicht einmal die maßgeschneiderte Herstellung von Katalysatoren auch für industrielle Verfahren – ermöglichen könnte. Dazu sind in die Forschungsarbeiten von Anfang an auch Ingenieure aus verschiedenen Fachrichtungen mit einbezogen.

### Hoffnung für die Umwelt

Das Ziel, übergreifende Mechanismen der Katalyse zu verstehen, verfolgt etwa der Sonderforschungsbereich „Molekulare Katalysatoren: Struktur und Funktionsdesign“ in Heidelberg. „Die Katalyse zählt zu den entscheidenden Zukunftstech-

nologien einer modernen Industriegesellschaft“, formuliert dessen Sprecher Professor Peter Hofmann die Chancen dieser Arbeit. „Um innovative Chemieprodukte umweltverträglich und ressourcenschonend, aber zugleich auch wirtschaftlich herstellen zu können, wird die Weiterentwicklung dieser Technologie für die Zukunft entscheidend sein.“

Auch Matthias Beller, Professor am Leibniz-Institut für Katalyse in Rostock und Träger des Gottfried Wilhelm Leibniz-Preises 2006, sieht katalytische Verfahren als Schlüssel zu den zentralen Problemen der Industrialisationen. Nicht nur, dass Katalysatoren aus Autoabgasen den Großteil der Schadstoffe entfernen (und von hier in den allgemeinen Sprachgebrauch übergegangen sind): Auch und vor allem bei der Energieversorgung spielen sie eine entscheidende Rolle. „Die Verwendung von Wasserstoff als Energieträger zum Bei-

spiel funktioniert nur mittels der Katalyse“, betont Beller. „Besonders die künstliche Photosynthese, die Trennung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff, ist eine große Herausforderung und ein visionäres Ziel.“ Auch Verfahren in der Petrochemie und in der optimierten Herstellung von Biodiesel fallen in diese Kategorie. „Die Katalyse“, so Beller, „ist eine Querschnittsdisziplin mit einem enormen Potenzial an Innovation.“

## Reagieren ohne Hochdruck

Große Hoffnungen setzt die Katalyse-Forschung derzeit vor allem in die Untersuchung biologischer Prozesse. „Die chemische Biologie liefert gute Beispiele für seit Millionen von Jahren durch die Natur optimierte Katalysatoren“, sagt Schwarz. Die für die Vorgänge in der belebten Natur unerlässlichen Katalysatoren, die Enzyme, initiieren zum Teil Reaktionen, die die Industrie zur Zeit nur unter drastischen Bedingungen erzwingt. Ein Beispiel, das die Industrie aufgrund der hohen Nachfrage gern optimieren würde, ist die Umwandlung von Methan in Methanol, das sowohl als Kraftstoff als auch für Synthesen in der chemischen Industrie von großer Bedeutung ist. Derzeit ist diese Reaktion nur unter sehr hohen Drücken und Temperaturen zu realisieren, während die Natur sie mithilfe des zwar sehr komplexen Enzyms Methan-Mono-Oxygenase, aber bei Umgebungstemperatur und ohne hohe Drücke bewältigt.

Im Vergleich zu klassischen, in der Chemie üblicherweise verwendeten Katalysatoren, deren aktiver Teil ein Metallatom ist, sind in der Natur etwa die Hälfte aller Enzyme in der Lage, auch ohne die Hilfe eines Metallatoms chemische Umsetzungen zu beschleunigen – und das mit vom Men-

*Kleinste Mengen eines Katalysators können die Reaktion zwischen zwei Stoffen stark beschleunigen. Hier Kristalle eines Kobalt-Katalysators*





*Vom Labor zur Industrie: Am Leibniz-Institut für Katalyse in Rostock laufen zahlreiche DFG-geförderte Projekte zur Grundlagenforschung*

schen kaum erreichter Genauigkeit. Der Erforschung des Prinzips, das dieser „metallfreien“ Katalyse zugrunde liegt, widmet sich das DFG-geförderte Schwerpunktprogramm „Organokatalyse“. Hier untersuchen Wissenschaftler aus ganz Deutschland die Mechanismen der Katalyse mithilfe kleiner organischer Moleküle. Diese Katalysatoren sind oft sehr robust, günstig, ungiftig und einfach zu synthetisieren.

### Vom Zufall geleitet

Dass die experimentelle Suche nach dem perfekten Katalysator zu ganz unerwarteten Resultaten führen kann, zeigt eine Entdeckung des Sonderforschungsbereichs „Metall-Substrat-Wechselwirkungen in der heterogenen Katalyse“ in Bochum. Indem die Forscher aufzeigten, wie sich die Oberfläche von Zinkoxid auf einfache Art leitfähig machen lässt, konnten sie wegweisende Erkenntnisse gewinnen, die neue Ansätze für den Bau von Solarzellen liefern. „Eigentlich handelte es sich dabei um eine Art Zufallsfund“, erklärt der Sprecher des Sonderforschungsbe-

reichs, Professor Christof Wöll. „Das Hauptinteresse unserer Untersuchungen gilt den chemischen Eigenschaften von Zinkoxidoberflächen, insbesondere in Zusammenhang mit der Synthese von Methanol.“

Nicht nur der Austausch mit anderen Disziplinen bietet in der Katalyse-Forschung Chancen. Auch die frühzeitige Kontaktaufnahme mit der Industrie verspricht Erfolg. „Die Industrie hat in der Regel nicht die Zeit, Grundlagenforschung zu betreiben, aber aus der Zusammenarbeit ergeben sich spannende Anregungen“, sagt Beller, dessen Institut eng mit der Industrie kooperiert. Der wache Blick auf mögliche Anwendungen sollte hier die Forschung leiten. „Eine chemisch perfekte Stoffumwandlung hat keine Relevanz, wenn sie beispielsweise teure oder giftige Lösungsmittel verwendet“, betont Beller. Auch bei den 2006 initiierten DFG-Transferprojekten, die ja vor allem als „Heiratsvermittler“ zwischen Wissenschaft und Industrie firmieren sollen (siehe Seite 142 f.), schlummern hier also noch ungeahnte Möglichkeiten.