

Zukunftstechnologie Katalyse

Rede des Präsidenten Prof. Wolfgang A. Herrmann zur Eröffnung des TUM Catalysis Research Centers (CRC) in Garching am 9. Mai 2016

„Die katalytische Kraft scheint darin zu bestehen, dass bestimmte Körper durch ihre bloße Gegenwart die bei dieser Temperatur sonst schlafenden Verwandtschaften zu erwecken vermögen“.

Jöns Jakob Berzelius (1779-1848), Entdecker des Katalyseprinzips

Die Katalyse ist mitten im Leben, sie ist immer und überall. Wenn der Bombardierkäfer seine Feinde abwehrt, setzt er eine chemische Explosion in Gang, ausgelöst durch zwei Katalysatoren. Aus Wasserstoffperoxid unter seinem Chitinpanzer wird eine Wasserdampf-Fontäne, die den Gegner vertreibt. Aber auch die Enzyme in unserem Körper wirken als Katalysatoren, und Spurenelemente – auch Schwermetalle! – helfen dabei.

Begrifflich kommt die Katalyse aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie „losbinden, aufheben“. Alte Bindungen werden gelöst, um neue zu knüpfen. Gemeint ist die chemische Stoffumwandlung, die mithilfe von Katalysatoren in eine gezielte Richtung („selektiv“) verläuft und damit unerwünschte Nebenprodukte als störende, meist entsorgungsbedürftige Ballaststoffe vermeidet. Außerdem erniedrigen Katalysatoren die Energiebarriere, die chemische Reaktionen auf dem Weg zum Zielprodukt für gewöhnlich überwinden müssen – also tragen Katalysatoren zur Energieeffizienz in der chemischen Produktion bei, ein weiterer umweltfreundlicher Beitrag.

Katalysatoren steuern den Mechanismus einer chemischen Stoffumwandlung. Sie werden aber im Idealfall nicht verbraucht, tauchen also in den Produkten nicht auf. Deshalb trifft das chinesische „tsoo mei“ – Hochzeitsvermittler! – das Wesen des Katalysators recht anschaulich, weil er bestehende Bindungen schwächt und auflöst (zu den Bekannten und Verwandten), dafür aber eine neue knüpft – zum Ehepartner, selektiv und hoffentlich dauerhaft! (Nur bei der eher seltenen Fragmentierungsreaktion kann der Katalysator als echter „Spalter“ wirken – ein Beispiel wäre der Abbau von Hochpolymeren zu niedermolekularen Fragmenten.)

Auch im täglichen Leben ist er präsent: Als Katalysator wirke, so ist oft zu hören, wer die Leute zusammen- und Sachen voranbringt. Jemanden „zum Jagen zu tragen“ ist nicht eigentlich Katalyse, wohl aber die spezifische Aktivierung, um selbst ins Ziel zu laufen.

Ein wirksamer Katalysator muss seinem Zweck angepasst, er muss also „maßgeschneidert“ sein. Dann erfüllt er die beiden wichtigsten Zieleigenschaften:

- *Selektivität*: Nur ganz bestimmte – eben die erwünschten – Produkte werden gebildet.
- *Aktivität*: Die Katalysatorfunktion wiederholt sich möglichst oft in exakt derselben, d.h. reproduzierbaren Weise.

Als *hochselektiv* gilt ein Katalysator, wenn er das Zielprodukt zu $\geq 99\%$ erreicht. Als *hochaktiv* gilt er – je nach Einzelfall – bei Wechselzahlen von bis zu $10^6/h$. Das heißt: Eine Katalysatoreinheit bewirkt bis zu ihrer Deaktivierung eine Million molekulare Stoffumwandlungen pro Stunde. Solche Höchstleistungen erbringen nicht nur viele Enzyme als natürliche biologische Katalysatoren, sondern auch labormäßig hergestellte Katalysatoren (z.B. Metallocene) bei der technischen Synthese von Polyolefinen aus Ethylen und Propylen.

Der Hauptzweck der angewandten Katalyse besteht darin, wenig reaktive Komponenten zu aktivieren und sie so gezielt zur Reaktion zu bringen. Großtechnische Beispiele sind die Ammoniak-Synthese (NH_3) aus den Elementen (N_2 , H_2), die Fischer-Tropsch-Synthese von Treibstoffen aus den Grundbausteinen (CO , H_2) oder die Polyethylen-Herstellung aus dem Raffinerieprodukt Ethylen. Wiederholt hat es seit Haber und Bosch (1918 bzw. 1931) Nobelpreise für Durchbrüche in der Katalyse gegeben. Deutschland ist das Erfinderland der technischen Katalyse.

Es gibt kein anderes technisches Prinzip, das die ökonomische und ökologische Wertschöpfung so sehr miteinander verbindet wie die Katalyse. Die für fortgeschrittene Technologiegesellschaften unausweichliche chemische Produktvielfalt wird künftig nur darstellbar sein, wenn mithilfe spezifischer Katalysatoren Wertprodukte aufgebaut, Überflussprodukte abgebaut und Schadstoffe vermieden werden. Beispiele sind die Herstellung stereochemisch reiner Pharmaka, der Aufbau eigenschaftstypischer Polymerwerkstoffe aus einfachen Vorstufen, der Abbau nicht mehr gebrauchsfähiger Kunststoffe sowie die Schadstoffvermeidung aus verarbeitenden Produktionsstätten und Verbrennungsanlagen (z.B. Automobile, Kraftwerke). Auch bei der Gewinnung, Speicherung und Umwandlung von Energie – einem der großen Jahrhundertthemen – steht und fällt der Fortschritt mit der Katalysatorforschung (Elektrochemie, Brennstoffzellen).

Katalyse ist der Weg, um chemische Reaktionen unter geringstmöglichem Energie- und Stoffaufwand in gezielter Weise zu bewerkstelligen. Angesichts der gewaltigen Volumina stofflicher Umsetzungen – nichts anderes ist Chemie – und der damit verbundenen Rohstoff-, Energie-

und Abfallprobleme *ist die Katalyse ein wissenschaftliches, wirtschaftliches, ökologisches und politisches Thema ersten Ranges*. Seine Brisanz verschärft sich in Zeiten zunehmender Rohstoffverknappung. Im Erdölzeitalter grob vernachlässigt, wird die künftige Nutzung *biogener Rohstoffe* zentral auf die Fortschritte der Katalysatorforschung angewiesen sein, ebenso wie die chemische Nutzung von Naturgas (i.w. Methan), das bisher bedenkenlos verfeuert wird – es gehört aber nicht unter den Kessel, sondern in katalysatorbepackte Chemiereaktoren! Auch das allgegenwärtige Kohlendioxid (CO₂) sollte sich als wertvoller Chemierohstoff erweisen, wenn Katalysatoren zur Aktivierung dieses reaktionsträgen Moleküls gefunden sind.

Als rohstoffarmes Land kann die Bundesrepublik Deutschland nur dann eine wirtschaftliche Spitzenposition behaupten, wenn technologische Innovationen kontinuierlich für die Erneuerung, Erweiterung und Verbesserung der Warenproduktion führen. Im Bereich der Chemie dominiert das Thema Katalyse als zentrale wissenschaftliche Thematik die Diskussion um die Technologieführerschaft. Aufgrund der Produktvielfalt und der Produktionsvolumina der Chemischen, Pharmazeutischen und Biokraftstoff-Industrie ist evident: Es wird auf absehbare Zeit kein zweites Forschungsgebiet geben, von dem im internationalen Wettbewerb die Zukunftsfähigkeit des Chemiestandorts Deutschland stärker abhängt. Die Suche nach neuen katalytischen Verfahren wird neben Selektivitätsaspekten (Chemo-, Regio-, Stereoselektivität) besonders einer hohen Nachhaltigkeit Rechnung tragen müssen: *Biogene Rohstoffe, Energie, Umwelt*. Diesen Zielen sieht sich das neue Forschungszentrum verpflichtet.

Das **TUM Catalysis Research Center (CRC)** in Garching greift die interdisziplinäre Herausforderung der modernen Katalysatorforschung auf. Unter dem gemeinsamen Dach wirken unterschiedlichste methodische Ansätze ineinander, wenn es um die Aufklärung der molekularen Mechanismen bestimmter katalytischer Reaktionen geht oder um das Verständnis fundamentaler Prozesse in der Festkörperkatalyse. In dieser Forschung gibt es zwischen den klassischen Disziplinen der Naturwissenschaften keine Grenzen mehr. Wichtige Erfolgsvoraussetzung bei der Erforschung neuer, strukturell maßgeschneiderter Katalysatoren sind die instrumentelle Analytik von der Molekül- bis zur Oberflächenspektroskopie, die Reaktionskinetik, theoretische Modelle und Simulationsrechnungen, aber auch technische Entwicklungen auf dem Gebiet der Prozessführung. Das parallelisierte Screening in Miniaturreaktoren wird in Kombination mit Modellrechnungen an Großcomputern wesentlich zur Beschleunigung in der Katalysatoroptimierung beitragen, wofür in Garching das Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zur Verfügung steht. Zur

präzisen Ermittlung von Katalysatorstrukturen gibt es auf dem Garching Forschungscampus das Bayerische Kernresonanz-Zentrum, die Röntgenstrukturanalytik und die Hochfluss-Neutronenquelle FRM-II als weltweit einzigartige Kombination methodischer Stärken.

Nachdem **Ernst Otto Fischer** (Nobelpreis 1973) an unserer Universität die weltweit beachteten Grundlagen der metallorganischen Synthesechemie mit ständig neuen Stoffklassen geschaffen hatte (1964-1984), waren die Voraussetzungen für deren Anwendungen als Katalysatoren in der chemischen Stoffwandlung gegeben. Ein frühes Beispiel der Fischer-Schüler (Hafner, Jira) war das Wacker-Hoechst-Verfahren zur einfachen, sauberen Herstellung der Grundchemikalie Acetaldehyd (1958). Fortan entwickelte sich das Münchner Laboratorium zu einer erstrangigen Adresse der metallorganischen Katalyseforschung. Mittlerweile ist daraus ein starker Schwerpunkt der TUM-Chemie geworden, seit sich durch Neuberufungen praktisch alle Disziplinen daran beteiligen, nicht zuletzt die systematisch ausgebaute biologische Chemie einer Fakultät, die ausweislich des sog. Shanghai-Rankings zu den zehn forschungstärksten der Welt gehört.

Dieser Kurs wird nun mit dem **TUM Catalysis Research Center** konsequent fortgesetzt. In dem soeben fertiggestellten Neubau bietet es exzellente Forschungsbedingungen. Der zugrundeliegende Antrag beim Wissenschaftsrat vom 1. August 2007 war auf Anhieb erfolgreich – heute steht der Forschungsneubau an der Ernst Otto Fischer-Straße 1 in Garching, nach Investitionen von über 70 Millionen Euro. Die wissenschaftlichen Ziele, so die Kernbegründung, *„richten sich mittelfristig konkret auf die Erforschung multifunktionaler, nanostrukturierter Katalysatoren in einem interdisziplinären Ansatz, der die Ingenieurwissenschaften einschließt“*. Bereits damals wurde darauf hingewiesen, dass *„mehr als 80% der Wertschöpfung allein der Chemischen Industrie auf katalytischen Verfahren“* beruht. Der internationale Katalysatormarkt hat mittlerweile ein Volumen von über 15 Milliarden US-\$, mit steigender Tendenz.

Heute sind die wesentlichen Merkmale der TUM-Katalyseforschung ihre thematische Breite, ihre *wissenschaftliche Tiefe*, ihre *interdisziplinäre Anwendungsbreite* und ihr *Anwendungsbezug*.

Die Planungs- und Bauphase wurde genutzt, um das Forschungsportfolio zu erweitern und den neuen Herausforderungen von Wissenschaft und Technik anzupassen. So entstanden an der TUM seither

- das „**Forschungszentrum für Industrielle (Weiße) Biotechnologie**“ mit seinen ingenieurwissenschaftlichen Kernkompetenzen und einem hochmodernem Biotechnologikum;
- das „**Forschungszentrum für Synthetische Biotechnologie**“ aus Mitteln der Werner Siemens-Stiftung (11,5 Mio. Euro);
- **neue katalyserelevante Professuren** für Bioanorganische Chemie, Computergestützte Biokatalyse, Industrielle Biokatalyse, Technische Elektrochemie, Physikalische Chemie/Katalyse, Siliciumchemie, Festkörper-NMR-Spektroskopie, Biomolekulare NMR-Spektroskopie, Selektive Trenntechnik, Systembiotechnologie;
- das „**Bayerische Kernresonanz-Zentrum**“ mit einem 1,2 Gigahertz-Spektrometer;
- die **TUM International Graduate School of Science & Engineering** (aus der Exzellenzinitiative 2006) mit zahlreichen Projekten der Katalysenforschung;
- das „**Wacker-Institut für Siliciumchemie**“ in Kooperation mit der Wacker Chemie AG;
- die „**Munich Catalysis Alliance**“ (MuniCat), dem Zusammenschluss der Katalysenforschung der TUM und der Clariant SE.

Assoziiert mit dem CRC sind Forschungsaktivitäten des “Kompetenzzentrums für Nachwachsende Rohstoffe” in Straubing (u.a. Biotechnologie, Celluloseforschung). Der erfolgte Ausbau der biochemischen und biophysikalischen Forschung an der TUM – ebenfalls mit mehreren neuen Professuren – schafft die Verstärkung des Katalyseswerpunkts in den biopharmazeutischen Bereich. Damit ist die TUM nunmehr international wettbewerbsfähig mit einem kohärenten Gesamtkonzept aufgestellt.

Ernst Otto Fischer, unser akademischer Lehrer, würde sich mit uns über den heutigen Tag freuen. Er würde aber in seiner unverwechselbaren Art auch mahnen, etwa mit den Worten: „Macht was Ordentliches aus dem vielen Geld! Behaltet Euch vor allem die Begeisterung an der Wissenschaft als intellektuelles Abenteuer! Steckt den Nachwuchs mit Eurer Faszination fürs Neue an – das ist die halbe Miete. Und bleibt bescheiden. Universität ist Dienerin der Gesellschaft, nicht ihre Herrin.“ Diese Sätze haben wir so, oder so ähnlich, immer wieder von ihm gehört, wenn er emsig durch die Forschungslabors in der Arcisstraße eilte. Seinem Andenken sei dieser Tag gewidmet. Glück und Erfolg dem neuen Katalysenforschungszentrum an der Ernst Otto Fischer-Straße 1 in der Universitätsstadt Garching!