



H. Schwarz

Der auf dieser Seite vorgestellte Autor veröffentlichte kürzlich seinen **25. Beitrag** seit 2000 in der *Angewandten Chemie*:

„Thermische Wasserstoff-abstraktion aus Methan – zur Rolle von Radikalen und Spinzuständen in der Chemie von Oxoclustern“: N. Dietl, M. Schlangen, H. Schwarz, *Angew. Chem.* **2012**, 124, 5638; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, 51, 5544.

## Helmut Schwarz

<b>Geburtstag:</b>	6. August 1943
<b>Stellung:</b>	Professor für Chemie an der Technischen Universität Berlin (TUB) und Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung
<b>E-Mail:</b>	helmut.schwarz@mail.chem.tu-berlin.de
<b>Homepage:</b>	http://www.chem.tu-berlin.de/
<b>Werdegang:</b>	1960–1964 Chemielaborant (Dynamit Nobel AG, Troisdorf) 1966–1971 Chemiestudium, TUB 1972 Promotion bei F. Bohlmann, TUB 1974 Habilitation, TUB 1973 Postdoktorat bei J. Seibl, ETH Zürich 1975 Postdoktorat bei K. Biemann, MIT 1977 Postdoktorat bei D. H. Williams, Cambridge University
<b>Preise:</b>	<b>1990</b> Leibniz-Preis, DFG; <b>1998</b> Liebig-Medaille, GDCh; <b>2000</b> Prelog-Medaille; <b>2001</b> F. H. Field and J. L. Franklin Award, ACS; <b>2003</b> Otto-Hahn-Preis, GDCh; <b>2011</b> Blaise-Pascal-Medaille, Europäische Akademie der Wissenschaften und Künste; <b>2011</b> Verdienstorden der Bundesrepublik; <b>2012</b> Lichtenberg-Medaille, Akademie der Wissenschaften zu Göttingen
<b>Forschung:</b>	Aufklärung der Elementarschritte metallvermittelter Bindungsaktivierungen; Katalyse durch einzelne Atome; Elektronentransferprozesse; Chemie unter extremen Bedingungen
<b>Hobbys:</b>	Musik und Literatur

**Ein guter Arbeitstag beginnt ...** gelegentlich mit dem Gedanken „Die Zeit, die ist ein sonderbar Ding“ (aus dem Rosenkavalier).

**Meine geheime/nicht-ganz-so-geheime Leidenschaft ist ...** leidenschaftliche Neugierde auf Menschen.

**Mein Motto ist ...** „solidaire et solitaire“ (vereint und allein; A. Camus).

**Das beste Stadium in der Karriere eines Wissenschaftlers ist ...** vermutlich die Postdoktorandenzeit: Man wird in ihr erwachsen.

**Drei Personen, mit denen ich gerne einen Abend verbringen würde, ...** sind Nelson Mandela, James Franck und Lise Meitner.

**Und ich würde sie fragen, ...** wie man seine Feinde lieben kann.

**Meine Lieblingsorte auf der Welt sind ...** Castel del Monte (Apulien) bei Sonnenuntergang im Frühling, Venedig im Dezembernebel – oder Jerusalem: schneebedeckt.

**Mein Lieblingsgericht ist ...** Spaghetti à la Helmut, zu servieren mit Brunello di Montalcino „Montosoli“ 1968 oder 2002.

**Ein guter Tag endet ...** mit dem Terzettino aus *Così fan tutte*: „Soave sia il vento“.

**Mein Albtraum wäre, ...** Horst Fuhrmanns Anleitung zu vergessen, wie man sich zu sterben wünschen sollte, nämlich: einschlafen und beim Wachwerden tot sein.

### **Welche Aspekte waren für Sie bei der Wahl des Themas Ihrer Promotion und später Ihrer unabhängigen Forschung entscheidend?**

Da ich – bedingt durch meinen Werdegang – relativ spät mit dem Studium begonnen hatte (und zu Beginn mir auch nicht sicher war, überhaupt das richtige Fach gewählt zu haben), gab es für mich zunächst nur ein Ziel: Rasch unabhängig zu werden! Bei den vielen Offerten, die ich als Diplomand und Doktorand erhalten hatte, spielten die Forschungsthemen selbst keine besondere Rolle, da mich – bis auf Technische Chemie – die ganze Breite des Faches faszinierte. Ausschlaggebend war das „Gefühl“, bei Ferdinand Bohlmann

mein eigener Herr sein zu können – und tatsächlich durfte ich tun und lassen, was ich wollte. Fachlich hat er mich kaum gefördert, aber meinen Drang zu früher Selbstständigkeit hat er beispielgebend und gelegentlich gegen die Meinung der Fakultät selbstlos unterstützt. Eine bessere Umgebung hätte ich mir kaum wünschen können.

### **Chemie gilt als eine der kreativsten Wissenschaftsdisziplinen, warum?**

Kreativ sein heißt, etwas Neues erschaffen, und Chemiker können genau dies. Sie finden nicht nur, was schon immer da war, sondern sie schaffen neue Formen der Materie. Sie, die Chemie, ist unter den

naturwissenschaftlichen Fächern den Künsten wie auch den Ingenieurwissenschaften am stärksten verwandt – ich ginge jede Wette ein, dass Leonardo da Vinci, lebte er in unserer Zeit, sich für Chemie interessieren und begeistern würde!

**Trotz vieler Aktivitäten in der Vergangenheit ist der Ruf der Chemie immer noch schlecht, was tun?**

Ich denke, dass der Ruf des Faches schon deutlich schlechter war. Wann immer ich weltweit mit jungen Menschen spreche, wird deutlich, dass sie die existierenden großen Probleme nicht als von der Chemie verursacht sehen; im Gegenteil, vielen von ihnen ist bewusst, dass wir den Herausforderungen nur durch bessere Erziehung, durch Aufklärung und durch ein naturwissenschaftlich geprägtes Denken und Handeln erfolgreich begegnen können. Es mag für saturierte Gesellschaften, wie in Mitteleuropa, vielleicht typisch sein, Veränderungen nur ungern zu akzeptieren, und da die Chemie geradezu die Inkarnation materieller Veränderungen ist, ist das Fach vielen dieser Menschen suspekt. Aber auch in Deutschland sehen wir, wie ein langfristiges Engagement für einen besseren naturwissenschaftlichen Unterricht – beispielsweise finanziert durch den Fonds der Chemischen Industrie – sich auszuzahlen beginnt. Junge Menschen sind neugierig auf geistige Abenteuer – und die Chemie kann diese Neugierde stillen.

**Können Sie einen Rat geben, woran man erkennt, wann ein Forschungsprojekt beendet werden und wie man dabei vorgehen sollte?**

Vermutlich gibt es keinen Königsweg. Forschungsprojekte durchlaufen verschiedene Reifzustände; wenn es zu einem Thema keine wirklich neuen Fragen mehr gibt oder wenn die Antworten nur noch einen marginalen Erkenntniszugewinn liefern, dann ist es Zeit, das Thema zu wechseln – mag man es noch so liebgewonnen haben. Abbrechen sollte man ein Projekt auch dann, wenn klar wird, dass keine Aussicht besteht, das Problem mit den verfügbaren Methoden zu lösen – aber nicht zu früh aufstecken!

**Sie haben mehr als 950 Arbeiten veröffentlicht und mehr als 40 Auszeichnungen erhalten – was ist das Geheimnis Ihres Erfolgs?**

Ob die Zahl veröffentlichter Arbeiten oder gehaltener Vorträge als Erfolg bewertet werden müsse, sei einmal dahingestellt. Retrospektiv würde ich als Kennzeichen meiner Arbeit nennen, dass ich mich selten im Hauptstrom des Geschehens aufhielt; Moden gegenüber (die es auch in der Wissenschaft gibt) war ich wohl immun. Interessiert haben mich hingegen immer Fragen, die einen allgemeineren Aspekt enthielten. Einige Beispiele finden Sie in meinen unten aufgeführten Top-Papern. Zwei oder drei andere möchte ich hier skizzieren: 1) Eine von

Linus Pauling in den 1930er Jahren aufgeworfene Frage, wie klein man ein mehrfach geladenes Molekül machen könne, ohne dass die Coulomb-Abstoßung es zum Zerplatzen bringt, hat mich so fasziniert, dass ich ein größeres Forschungsprogramm aufgebaut habe, das letztlich keine geringen Auswirkungen auf einige Themen in der Physik oder der interstellaren Chemie hatte – Neugierde war hier die Triebkraft! 2) Bei cyclischen Peptiden ist die Frage nach der Konstitution, also Sequenz oder Retrosequenz, nicht ohne Belang. Natürlich lässt sich diese Frage, wie Kesslers Gruppe gezeigt hat, mit NMR-Methoden beantworten. Aber wenn nur wenige Nanomol eines Naturstoffes vorliegen, ist die NMR-Spektroskopie nicht empfindlich genug. Hier waren es grundlegende mechanistische Überlegungen, kombiniert mit methodischen Entwicklungen (Tandemmassenspektrometrie) meines Doktoranden Klaus Eckart, die zu einem unglaublich einfachen Sequenzierungsverfahren führten. 3) Warum ist es so schwierig, Methan selektiv, ökonomisch vertretbar und gleichzeitig umweltfreundlich in „wertvollere“ Produkte zu überführen? Fast 20 Jahre habe ich mich mit diesem Thema beschäftigt (*Angew. Chem.* **2011**, *123*, 10276; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2011**, *50*, 10096) und sonst kaum so viel gelernt wie bei diesem scheinbar simplen Problem: die große Rolle relativistischer Effekte, das Theorem der Zweizustandsreaktivität, ein detaillierteres Verständnis des Einflusses von Liganden oder von Clustergrößen etc. Seminare waren oft Lehrstunden für mich, und meine Lehrer waren in der Regel meine Studenten, z.B. Berger, Beyer, Brönstrup, Engesser, Fiedler, Frenking, Harvey, Heinemann, Lebrilla, Koch, Koszinowski, Kretzschmar, Schalley, Schlangen, Schröder, Weiske, Zhang und Zipse! Ein Geheimnis für „Erfolg“ scheint es nicht zu geben, man halte sich einfach an das Motto: Arbeite mit Studenten, die für ihr Thema brennen! Und in ihnen, ganz nach Augustinus, ein intellektuelles Feuer zu entfachen sollte die wichtigste Aufgabe eines akademischen Lehrers sein.

**Wo sehen Sie Deutschlands Zukunft in den Naturwissenschaften – vor allem angesichts der asiatischen Konkurrenz?**

In den nächsten 10–20 Jahren werden wir noch mitspielen in der Weltliga; dass der Forschungsstandort Deutschland immer noch sehr begehrt ist, dafür gibt es genügend verlässliche Indikatoren. Aber dass China, Indien und Korea dabei sind, mit uns um die Podiumsplätze zu konkurrieren, ist weder ein Geheimnis noch ein Grund zur Mutlosigkeit. Wissenschaft zu betreiben, ist ein wenig vergleichbar mit einem Wettkampf – und dabei gibt es Gewinner und Verlierer, Aufsteiger und Absteiger. Wen kümmert's, wenn die Gesichter auf dem „olympischen Treppchen“ in Stockholm



Die Forschung von H. Schwarz war auch auf dem Innentitelbild der *Angewandten Chemie* vertreten:

„Über die Rolle von  $[\text{CuO}]^+$  bei spinselektiven Wasserstoff- und Sauerstoff-Übertragungen in der Aktivierung von Methan“: N. Dietl, C. van der Linde, M. Schlangen, M. K. Beyer, H. Schwarz, *Angew. Chem.* **2011**, *123*, 5068–5072; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2011**, *50*, 4966–4969.

einmal andere Hautfarben haben. Mich jedenfalls irritiert dieser Gedanke nicht.

Die Interviewfragen formulierte Kirsten Zeitler (Universität Regensburg).

### Meine fünf Top-Paper:

1. „Nicht-ergodisches Verhalten angeregter Radikalionen in der Gasphase“: G. Depke, C. Lifshitz, H. Schwarz, E. Tzidony, *Angew. Chem.* **1981**, 93, 824–825; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1981**, 20, 792–793.

Ein zentrales Dogma der Reaktionsdynamik – das Ergodentheorem – besagt, dass die intramolekulare Energieumverteilung in einem angeregten Molekül schneller ist als sein unimolekularer Zerfall. Wir konnten belegen, dass dies bei der Enolform des Aceton-Radikalkations nicht der Fall ist. Die wegen der Isomerisierung der Enolform konstitutionell gleichwertigen Methylgruppen werden mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten eliminiert, und zwar die neue  $\text{CH}_3$ -Gruppe schneller als die bereits vorhandene! Markierungsexperimente, Modellrechnungen und die Bestimmung der Energieverteilung in den Fragmenten lieferten das erste Beispiel, dass auch „größere“ Moleküle sich *nichtergodisch* verhalten können – was später von mehreren Arbeitskreisen (z.B. Houk und Carpenter) auch bei völlig anderen Systemen nachgewiesen wurde.

2. „The Reaction of Nitriles and  $\text{Fe}^+$  in the Gas Phase. A Case of Remote Functionalization“: C. B. Lebrilla, C. Schulze, H. Schwarz, *J. Am. Chem. Soc.* **1987**, 109, 98–100.

Breslows Konzept einer ferngesteuerten Funktionalisierung konnten wir in einer einfachen Ion-Molekül-Reaktion verifizieren. Das „nackte“ Eisen wird nicht statistisch in die verschiedenen C-H- oder C-C-Bindungen eingeschoben, sondern einer Anlagerung des Kations an die funktionelle Gruppe schließt sich eine „interne“ Solvatisierung an, bei der entfernte, nicht-aktivierte C-H- und C-C-Bindungen geometrisch in die Nähe des Metalls und dann zur Reaktion gebracht werden. Wie Untersuchungen später zeigten, können in Abhängigkeit vom Metall, von der funktionellen Gruppe und von der Länge der Alkylkette regio- und stereoselektive Aktivierungen realisiert werden – ein enzymanalogenes Verhalten ohne Enzym, und das alles in einer simplen Ion-Molekül-Reaktion!

3. „Endohedrale Clusterverbindungen: Einbau von Helium in  $\text{C}_{60}^{+}$  und  $\text{C}_{70}^{+}$ -Fullerene durch Kollisionsexperimente“: T. Weiske, D. K. Böhme, J. Hrušák, W. Krätschmer, H. Schwarz, *Angew. Chem.* **1991**, 103, 898–900; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1991**, 30, 884–886.

„Kann man etwas in den Hohlraum von Fullerenen packen?“ Heute, nach mehr als 20 Jahren Fullerenchemie, gelingt dies durch aufwendige Chemiechirurgie: Der Käfig wird geöffnet, ein Gast in den Hohlraum geschleust und die Operation durch Zunähen des Käfigs beendet. Hätte man Chemiker oder Physiker Anfang der 1990er Jahre gefragt, ob Atome z.B. durch ein Kollisionsexperiment in den Hohlraum von  $\text{C}_{60}$  geschmuggelt werden könnten, die Antwort wäre ein klares „Nein“ gewesen, denn in einem solchen Experiment entsteht ein hochangeregter Transient, der in-

nerhalb von Pikosekunden zerfällt. (Von diesen stoß-induzierten Zerfällen „lebt“ übrigens die gesamte massenspektrometrie-basierte Proteomik!) Aber in einem atemberaubenden Experiment gelang es uns – in schärfster Konkurrenz mit zwei amerikanischen Gruppen, die wir in diesem „Rennen“ um nur wenige Wochen schlugen –, ein Heliumatom (und später auch zwei) in das Fußballmolekül einzuschleusen, ohne dass der Stoßkomplex zerplatzte. Aber es bedurfte weiterer ausgeklügelter Experimente, um schließlich auch die hartnäckigsten Zweifler von der Richtigkeit der Interpretation dieses die Lehrbuchmeinungen Lügen strafenden Befundes zu überzeugen.

4. „Two-State Reactivity in Organometallic Gas-Phase Ion Chemistry“: S. Shaik, D. Danovich, A. Fiedler, D. Schröder, H. Schwarz, *Helv. Chim. Acta* **1995**, 78, 1393–1407.

Spin- und Energieerhaltungssätze gehören zum Fundament chemischer Prozesse, und der überwiegende Teil thermischer Reaktionen kann in der Regel durch eine Potentialfläche beschrieben werden. Gasphasenexperimente mit „nacktem“  $\text{FeO}^+$  belegen jedoch, dass im Zuge der Bindungsaktivierung von RH ( $\text{R} = \text{H}, \text{CH}_3$ ) ein Spinwechsel von einem Sextett- zu einem Quartettzustand erfolgen muss, also bei *thermischen* Prozessen *elektronisch angeregte* Zustände durchlaufen werden. Was zunächst als Spezialfall angesehen wurde, hat sich rasch als ein weit verbreitetes Reaktionsprinzip etabliert: Zweizustandsreaktivitäts-Phänomene beobachtet man bei biologischen Prozessen (z.B. Cytochrom P450), metallvermittelten Polymerisationen, der Oxidation von Olefinen, Ligandenaustauschreaktionen, der Aktivierung von  $\text{C}=\text{X}$ -Bindungen ( $\text{X} = \text{O}, \text{S}$ ) etc.

5. „Ethylenedione: An Intrinsically Short-Lived Molecule“: D. Schröder, C. Heinemann, H. Schwarz, J. N. Harvey, S. Dua, S. J. Blanksby, J. H. Bowie, *Chem. Eur. J.* **1998**, 4, 2550–2557.

Es existieren zahlreiche Hinweise auf Moleküle, die es nicht geben soll, weil man sie (bisher) nicht „auf Flaschen ziehen“ konnte. Doch dass beispielsweise  $\text{AuF}$  in Substanz nicht fassbar ist, belegt nicht, dass es auch als isoliertes Molekül nicht existiert, ganz im Gegenteil (siehe *Angew. Chem.* **1994**, 106, 223; *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1994**, 33, 212). Auch  $\text{C}_2\text{O}_2$  gehört seit Staudingers Überlegungen (*Ber. Dtsch. Chem. Ges.* **1913**, 46, 1426) zur Klasse der „nicht abfüllbaren Moleküle“. Was man jedoch tun müsste, um z.B. in der Gasphase aus den wohlbekannten Ionen  $\text{C}_2\text{O}_2^+$  und  $\text{C}_2\text{O}_2^-$  durch Reduktion bzw. Oxidation das Neutramolekül  $\text{C}_2\text{O}_2$  vielleicht doch – wenn auch nur transient für  $10^{-9}$  s! – zu erzeugen, beschreiben wir hier. Erneut begegnen wir dem Prinzip der Zweizustandsreaktivität, denn es ist der Spinwechsel, der aus einem in einem Minimum residierenden Triplett- einen nichtgebundenen Singulettzustand erzeugt, der seinerseits spontan in zwei Moleküle CO zerfällt.

DOI: 10.1002/ange.201202389