

Chemie: interdisziplinär und international – und mit Gespür für Geschichte

Thomas Geelhaar*



Dr. Thomas Geelhaar,
Präsident der Gesellschaft
Deutscher Chemiker

„Nur wer die Vergangenheit kennt, hat eine Zukunft“

Wilhelm von Humboldt äußerte diesen Aphorismus auf einer seiner Bildungsreisen vor 225 Jahren nach Paris. Die Chemie versucht – sowohl als Wissenschaft als auch als Industrie – diesem Gedanken zu folgen und nimmt die zahlreichen Jubiläen im letzten, in diesem und im nächsten Jahr zum Anlass für Rückblick und Ausblick. Unsere Wissenschaft feiert nächstes Jahr 150 Jahre Kekulé's Benzolformel und in diesem Jahr den 150. Geburtstag des Nobelpreisträgers Walther Nernst. 2013 und 2015 sind außerdem Jubiläumsjahre von Bayer bzw. BASF – jeweils 150 Jahre Unternehmensgeschichte. Und unsere *Angewandte Chemie* beging 2013 ihr 125-jähriges Jubiläum unter anderem mit einem internationalen Festsymposium in Berlin, worauf wir als Gesellschaft Deutscher Chemiker besonders stolz sind. Die internationalen Jahre der Kristallographie (2014) und des Lichts (2015) der UNESCO nimmt die Chemie zum Anlass, den interdisziplinären Dialog zu fördern.

Chemie verbindet – chemische und Molekularbiologie sind heute wichtige Gebiete, auf denen Biologen und Chemiker zusammenarbeiten. In den Materialwissenschaften – unter anderem wegen der Fortschritte in der Nanotechnologie – kooperieren Chemiker mit Physikern und Ingenieuren. Allerdings nimmt dadurch die Sichtbarkeit

der Chemie als Naturwissenschaft ab, obwohl viele moderne Werkstoffe und Wirkstoffe durch die Chemie- und Pharmaindustrie entwickelt wurden.

NMR-Spektroskopie und Röntgenstrukturanalyse haben die Chemie revolutioniert

Blicken wir einige Jahrzehnte zurück: Wie hat sich seitdem die Chemie durch die breite Einführung bestimmter physikalischer Methoden verändert? NMR-Spektroskopie und Röntgenkristallographie haben die Strukturanalyse komplexer Moleküle revolutioniert und damit wesentlich zur Weiterentwicklung der Chemie beigetragen. Welche neuen physikalischen Methoden könnten in diesem Sinne die Chemie in Zukunft beeinflussen?

Chemie am Unschärfelimit

In seinem Essay „Chemie am Unschärfelimit“ hatte der Nobelpreisträger Ahmed Zewail vor 15 Jahren Konzepte zur Beobachtung der Dynamik atomarer Vorgänge bei chemischen Prozessen vorgestellt, wobei er auf der Femtosekunden-Zeitskala ultraschnelle Elektronenmikroskopie verwendete.^[1] In der Zwischenzeit wurde die Attosekunden-Physik durch die Arbeiten des Otto-Hahn-Preisträgers Ferenc Krausz vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching weiterentwickelt und erlaubt mit ultrakurzen Laserpulsen bei einer Auflösung bis zu 50 Attosekunden, die interatomare Bewegung von Elektronen wahrnehmbar zu machen

und so molekulare Prozesse zu verfolgen, bei denen die Grenzen zwischen Chemie, Physik und Biologie verschwinden.^[2]

In aktuellen Arbeiten zur Untersuchung der Photosynthese spricht Petra Fromme von der Arizona State University vom ersten „molekularen Film“. Mithilfe von zeitaufgelöster Kristallographie mit Femtosekunden-Röntgenlasern untersuchte sie zusammen mit mehr als 50 Coautoren die Wasserspaltung im Photosystem-II-Komplex.^[3] Dies ist ein eindrucksvolles Beispiel für interdisziplinäre Kooperation, bei der Röntgenlaserzentren in den USA (SLAC Stanford) und Deutschland (DESY Hamburg) mit Instituten für biophysikalische Chemie zusammenarbeiten, wobei diese Grundlagenforschung durch NSF, NIH, DFG und MPG unterstützt wird.

Chemie, Katalysator der Energieforschung!

Das bessere Verständnis von Grundprozessen des Lebens auf der Erde wie der Photosynthese ist eine wichtige Voraussetzung für Projekte der angewandten Energieforschung, z.B. die Entwicklung „künstlicher Blätter“ oder neuartiger Solarzellen. Die Chemie muss hier eine Schlüsselrolle übernehmen! Kame dem Thema Energieforschung auf internationaler Ebene vor dem Hintergrund der weltweiten Energiediskussion nicht eine ähnliche Be-

[*] Dr. T. Geelhaar
Chief Technology Officer Chemicals, Merck
Frankfurter Straße 250
64293 Darmstadt (Deutschland)
E-Mail: thomas.geelhaar@merckgroup.com

deutung wie den Themen Teilchenphysik, Aufbau des Universums, Genomanalyse oder Raumfahrt zu? Und wo wäre dann das Analogon zu Genf, Paris, Cambridge bzw. Houston als Mekka der Energieforschung?

Nanoskopie

Doch haben die Fortschritte in Femtochemie und Attosekunden-Laserspektroskopie nicht nur die Zeitauflösung in neue Größenordnungen vorangetrieben. Auch die örtliche Auflösung durch neuartige bildgebende Verfahren hat uns in ein neues Zeitalter der Mikroskopie geführt, das der Nobelpreisträger Steven Chu mit „Mikroskopie 2.0“ beschreibt. Die Auflösung fluoreszenzmikroskopischer Methoden wie der konfokalen Laser-Scanning-Mikroskopie war auf etwa 200 nm beschränkt. Dieses Limit hat der Nobelpreisträger 2014 Stefan Hell vom Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen mit der STED-Mikroskopie auf 20 nm reduziert und damit einen Durchbruch bei den bildgebenden Verfahren bis hin zur Einzelmolekülfluoreszenz in lebenden Zellen erzielt.^[4]

Somit können mit optischen Methoden Auflösungen erreicht werden, die bisher der Elektronenmikroskopie vorbehalten waren. Doch auch in der Elektronenmikroskopie konnte die Auflösung verbessert werden, und zwar durch Einführung der Kryo-Elektronenmikroskopie bis in den Sub-Nanometerbereich, was aus ihr eine wichtige Ergänzung zur Röntgenstrukturanalyse komplexer Biomoleküle macht. Damit sind Auflösungen von unter 5 Ångström möglich.

Schließlich könnte ein weiteres neues Verfahren auf der Basis von Stickstoff-

Fehlstellen (NV-Zentren) in Diamant die Auflösung und Anwendung revolutionieren. Die von Jörg Wrachtrup von der Universität Stuttgart entwickelten Methoden der Detektion von NV-Zentren, die sich beispielsweise verpackt in Diamant-Nanopartikel als Sensoren in Zellen einschleusen lassen, könnten die räumliche Auflösung der Fluoreszenzmikroskopie noch weiter verbessern.^[5]

Ausblick Chemie – mit Geschichtsbewusstsein

Wenn wir die Fortschritte der genannten Methoden in räumlicher und zeitlicher Auflösung zum besseren Verständnis und zur Aufklärung komplexer Molekülstrukturen nutzen – kann dies für die Chemie zu ähnlichen Fortschritten führen, wie wir sie durch die breite Anwendung von NMR-Spektroskopie und Röntgenstrukturanalyse in den

Auch die Geschichte der Chemie ist eine wichtige Fachdisziplin

vergangenen Jahrzehnten erreicht haben? Auch wenn die genannten Methoden wohl kaum eine ähnliche Verbreitung wie die NMR-Spektroskopie und die Röntgenstrukturanalyse erfahren werden, haben doch auch diese als exotische physikalische Methoden begonnen, die sich kaum ein Labor leisten konnte.

Nähern wir uns mit Attosekunden- und Pikometerauflösung langsam dem Unschärfelimit? Sind die beobachteten physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse noch in Einklang mit

der Heisenbergschen Unschärferelation? Oder verwischt sich unsere Vorstellung von Raum und Zeit, wie es schon Thomas von Aquin in seiner *Summa Theologiae* vor 750 Jahren beschrieben hat? *So kann ein Engel auch in einem bestimmten Augenblick an einem Platz sein und im nächsten Augenblick schon an einem anderen, ohne dass er zu irgendeiner dazwischen liegenden Zeit existiert hätte.*

Damit schließt sich der Kreis: kein Ausblick ohne solides Fundament. Kekulé bemerkte hierzu in seiner berühmten Benzolfest-Rede vor 125 Jahren: „Wir alle stehen auf den Schultern unserer Vorgänger; ist es da auffallend, dass wir eine weitere Aussicht haben als sie?“

Wir sollten die Geschichte der Chemie aber nicht nur zu Jubiläen würdigen, sondern auch als eine unserer Fachdisziplinen (an)erkennen, die an den Hochschulen erhalten werden sollte, auch wenn dies an vielen Universitäten in Vergessenheit gerät – insbesondere in Deutschland. Im Sinne von Wilhelm von Humboldt haben wir nur bei Kenntnis der Geschichte die besten Voraussetzungen, die Zukunft der Chemie zu gestalten – sowohl verstärkt interdisziplinär als auch international.

- [1] A. H. Zewail, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2001**, *40*, 4371–4375; *Angew. Chem.* **2001**, *113*, 4501–4506.
- [2] F. Krausz, M. Ivanov, *Rev. Mod. Phys.* **2009**, *81*, 163–234.
- [3] C. Kupitz et al., *Nature* **2014**, *513*, 261–265.
- [4] S. W. Hell, *Science* **2007**, *316*, 1153–1158.
- [5] T. Staudacher, F. Shi, S. Pezzagna, J. Meijer, J. Du, C. A. Meriles, F. Reinhard, J. Wrachtrup, *Science* **2013**, *339*, 561–563.