



Wolfgang A. Herrmann
Technische Universität München

Handwerk – Wissenschaft – Technik: Die Chemie in den Natur- und Technikwissenschaften*

Als Wissenschaft von den Ursachen, Erscheinungsformen und Folgen der stofflichen Umwandlungsprozesse nimmt die *Chemie* insofern eine Zentralstellung unter den technischen Disziplinen ein, als sie durch die Prinzipien Analyse und Synthese den Auf- und Umbau der stofflichen Welt erforscht. Sie ist die einzige Naturwissenschaft, die eine eigene Industrie hervorgebracht hat.

Chemie ist Handwerk, Wissenschaft und Technik zugleich, ist Natur ebenso wie Laboratorium und Fabrik. Aus der Doppelfunktion als *akademische Disziplin* und *industrieller Wirtschaftsfaktor* begründet sich denn auch jenes Spannungsfeld, das derzeit polarisiert wie nie zuvor ist und auf dem dennoch die Naturwissenschaft Chemie ihre Zukunftsorientierung finden muss. Als „intellektuelles Handwerk“ ist die Chemie gut getroffen, auch im Hinblick auf die unverzichtbaren Chemikerbegabungen. In jeder Diskussion über die zivilisatorischen Zukunftsaufgaben wird deutlich, dass unser Wissen um die stofflichen Gestaltungsmöglichkeiten die zentralen Problemlösungsfunktionen beschreibt. In verkürzter Darstellung heißt das: keine Werkstoffe und Wirkstoffe in ausreichender

*

Beitrag in der Zeitschrift „Forschung & Lehre“, Nr. 9, Jg. 1996, S. 476 – 479
(„Wissenschaften im Portrait“)

Zahl, Vielfalt und Umweltverträglichkeit, wenn die Chemie als Wissenschaft stagniert oder versagt. Das Kardinalproblem einer exponentiell steigenden Weltbevölkerung – heute 6 Milliarden, nach weiteren zwei Generationen 10 Milliarden Menschen – ist in seinen Lösungschancen an die Wissenschaft Chemie und ihre Produktionstechniken untrennbar gebunden.

Chemie als historische Logik

Die zur Wohnungs- und Nahrungsbeschaffung erforderlichen Werkzeuge gehören zu den menschlichen Urerfahrungen mit der stofflichen Umgebung. Chemische Produktion im heutigen Sinne beginnt in der Frühgeschichte mit der Gewinnung von Metallen aus den Lagerstätten der Erde, die mit der Erschließung ihrer Schatzgrube im ausgehenden Mittelalter die Chemie als Wissenschaft auf den Weg zu bringen half. Die mittelalterliche Alchemie war ein unstrukturiertes Gefüge aus philosophischen, theologischen, künstlerischen und handwerklichen Komponenten. Der Eindruck magischer Kräfte und undurchschaubarer stofflicher Zusammenhänge hat sich beim Laien bis auf den heutigen Tag erhalten. Erst als der englische Naturforscher Robert Boyle (1627 - 1691) die Laboratoriumswaage zur messenden Verfolgung stofflicher Umwandlungen eingeführt hatte, konnte der Franzose Antoine Laurent Lavoisier im Jahre 1777 die Natur der Oxidationsprozesse elementar erklären. Zerlegung und Zusammensetzung, Analyse und Synthese – diese Prinzipien chemischen Arbeitens führten letztlich dazu, dass die „natürlichen Stoffe“ nicht nur erkannt, sondern aus ihren Bausteinen in der Fabrik nachgebaut werden konnten. Bald wurden sie durch neue, der Natur verborgene Stoffe mit besseren Verwendungseigenschaften ersetzt. Ab der Mitte des 19. Jahrhunderts konnte man daran denken, natürlich vorkommende „Chemikalien“ (z. B. Pflanzenfarbstoffe) im Laboratorium naturgetreu, aber eben „künstlich“ herzustellen. Maschinen für Menschen arbeiten zu lassen – dazu gehörte im Zeitalter der industriellen Revolution auch die chemische Synthese. „Künstlich“ - ob Fuchsin, Aspirin oder Kautschuk - war synonym mit technischem Fortschritt. Tatsächlich begann sich in diesem Zeitabschnitt Ende des 19. Jahrhunderts die Identifikationsharmonie zwischen Mensch und Technik zu entwickeln, auch jene zwischen Mensch und Chemie. Wer die chemische Natur des Farbstoffes Indigo einmal erkannt hatte, der konnte ihn bald fabrikmäßig herstellen, ohne auf die Indigoplantagen fern der Heimat und auf

moderne Sklaverei noch länger angewiesen zu sein. Den sozialen Wandel in unserer westlichen Welt hat die chemische Industrie aus den Anfängen heraus entscheidend mitgeprägt und der soziale Fortschritt gehörte zum Kapitel der industriellen Chemie.

Ständiger Innovationsdruck

Wenn es historische Logik gibt, dann gehört die industrielle Chemie der letzten hundert Jahre zu ihren besten Produkten. Der ständige Innovationsdruck kam einerseits aus dem Bedürfnis, den Unbilden der Natur Herr zu werden:

Chemotherapie durch Paul Ehrlich (1910) und Gerhard Domagk (1935), Ammoniak- und damit Düngemittel-Synthese durch Fritz Haber und Robert Bosch (1909).

Andererseits verlangte die aufblühende Maschinen-, Verkehrs- und Elektroindustrie laufend neue Chemieprodukte mit vorgegebenen Eigenschaften. Und auch wenn wie so oft der Zufall half, so ist Karl Zieglers Polyethylen (1954) ein Musterbeispiel für die modernen künstlichen Werkstoffe („Kunststoffzeitalter“).

Gemeinsam mit der Agrarwissenschaft und der Medizin hat die Chemie den überwiegenden Beitrag zur individuellen Lebensverbesserung geleistet. So darf man daran erinnern, dass die durchschnittliche Lebenserwartung in industrialisierten Ländern heute doppelt so hoch ist wie vor 100 Jahren. In dieser Zeitspanne entwickelte sich die Chemie in allen Industrienationen zu einem der tragenden Wirtschaftszweige. Chemischer Fortschritt ist synonym mit wirtschaftlichem und sozialem Fortschritt.

Chemie im zukunftsorientierten Wandel

Angesichts der gleichzeitigen Verankerung unserer Disziplin in Wissenschaft und Wirtschaft orientieren sich die Zukunftsaufgaben nicht nur an der Erkenntnis als Selbstzweck, sie erschöpfen sich aber auch nicht in der empirischen Anwendung.

Die Chemieforschung wird sich verstärkt interdisziplinär ausrichten. Die Stoffchemie hat in allen Bereichen ein hohes Maß an Differenzierung erreicht, verbunden mit

einer noch vor wenigen Jahren ungeahnten strukturellen Komplexität. Es sind ja gerade die ausgefeilten Erfassungstechniken (analytische Methoden), die einerseits in die Nanostrukturen von Kompositwerkstoffen vorzudringen erlauben, andererseits aber die Umweltdiskussion auf eine schiefe Bahn gebracht haben. Was gestern als „unchemisch“ galt, wird morgen im Zentrum der chemischen Forschung stehen: gemeinsam mit dem Ingenieur das oberflächenvergütete Kugellager aus der langlebigen Speziallegierung; gemeinsam mit dem Architekten die faserverbundverstärkte Dachaufhängung; gemeinsam mit dem Mediziner das molekülchemisch maßgeschneiderte Radiopharmakon für die Krebsdiagnose und –therapie; gemeinsam mit dem Bauingenieur die Zuschlagchemikalie für mineralische Baustoffe (Gips, Zement, Beton). Und schließlich wird auch das herkömmliche „Chemiegeschäft“ die Innovation aus der Wissenschaft aufnehmen: Produktionsprozesse mit erheblichen, deponiebedürftigen Salzfrachten (aus gewissen Herstellungsprozessen zwangsläufig anfallende salzartige, zumeist verunreinigte Beiprodukte, deren Entsorgung oder Rezyklierung oft aufwändig ist) beginnt man durch katalytische Prozesse zu ersetzen, die möglichst nebenproduktfrei und ohne großen Energieaufwand verlaufen.

Zu Recht wird die chemische Katalyse als eines der zukunftssträchigsten Felder von Naturwissenschaft und Technik taxiert. Katalysatoren sind „... *solche Stoffe, durch deren Gegenwart langsam verlaufende Reaktionen beschleunigt werden*“ (W. Oswald, 1904). Sie haben in so unterschiedlichen Bereichen wie Nahrungsmittel- und Futtermittelherstellung, Energieumwandlung, Kunststofftechnologie, Verteidigungstechnologie, Umweltschutz und Gesundheitsfürsorge Bedeutung erlangt – „sanfte Chemie“ im vernünftigen Sinne. Es sind insbesondere Chemiker und Verfahreningenieure, die bei der Etablierung eines neuen Produktionsprozesses zusammenwirken, wenn die Katalysatorforschung einen neuen, technisch anwendbaren, strukturell möglichst gut verstandenen Katalysator hervorgebracht hat. Der Biochemiker leistet die Erkenntnis, wie bestimmte Enzyme (das sind biologische Katalysatoren) aufgebaut sind und wie sie funktionieren. Der Biotechnologe nutzt die lebende Zelle als Modell für die chemische Fabrik der Zukunft. Hier bietet die technische Umsetzung (z. B. Scale-Up, Raum/Zeit-Ausbeuten) noch erhebliche Herausforderungen.

Auch die chemische Materialwissenschaft gilt als Zukunftsdomäne zwischen den Natur- und Ingenieurwissenschaften, wobei die Chemie das stoffliche Basiswissen herbeischafft. Es gibt kaum eine technische Problemstellung, die nicht nach einem verbesserten oder neuen Werkstoff fragt, der zumeist hochbelastbar und leicht sein soll (Metalle, Metall-Legierungen, Keramiken, Kunststoffe). Wie sehr unser Leben von den „künstlichen Stoffen“ abhängig ist, zeigt die moderne Medizintechnik: Knochen-, Gefäß- und Herzklappenprothesen setzen eine breit sortierte Polymerchemie voraus, wobei hier die Funktions- und Haltbarkeitsansprüche extrem sind. Mit Pergament und Elfenbein sind die Probleme nicht zu lösen. Medizintechnik ist ein Thema für Chemiker.

In fortschreitendem Maße erfolgt eine *Biologisierung der Chemie*. Hierunter versteht man nicht etwa eine romantisierende Verkürzung unserer Disziplin auf biologische Phänomene, sondern vielmehr die Entschlüsselung jener zellbiologischen Vorgänge, die seit mehr als 3 Milliarden Jahren die chemische Synthese der Proteine leisten.

Man kann sich vorstellen, dass der Weg von der undifferenzierten „Ursuppe“ zum Leben mit dem Instrument der nachvollziehenden chemischen Synthese dereinst erkennbar wird. Die Entschlüsselung der komplexen zellchemischen Reaktionen würde die Medizin vermutlich auf eine völlig neue Basis stellen. Auch deshalb knüpft die biologische Chemie als wichtiges Zukunftsgebiet ein Band um die klassischen Naturwissenschaften Chemie, Physik und Biologie. Natürliche Funktionsprinzipien werden erneut zur Grundlage technischer Materialien und Maschinen.

„Computerchemiker“

In der Universität unserer Tage ist die Informatik die Leitfakultät, eine Rolle, die gestern der Philosophie und im Mittelalter der Theologie zukam. Heute ist die „Probierkunst“ Chemie auf dem Weg zur Objektivierung ihrer Phantasie. Rechnergestützte Methoden haben nicht nur Datenbanken ermöglicht, sondern ziehen auch in die Welt der kleinen und großen Moleküle ein. Mit Hochleistungsrechnern kann man heute nicht nur das Energieprofil eines chemischen Reaktionsablaufs vorausberechnen, sondern zunehmend auch

Eigenschaften und Reaktivitäten mit chemischen Strukturen in Beziehung setzen. Das Berufsbild des „Computerchemikers“ ist entstanden, der dem (keineswegs überflüssigen) „Experimentalchemiker“ alter Schule zur Seite steht. Parallelrechner und neuronale Netzwerke, letztere zur Mustererkennung und zur Feststellung von mathematisch noch nicht definierten Verknüpfungen zwischen Parametern, könnten alsbald ihre Stärken ausspielen.

Wir sehen also: Mehr als je zuvor ist die Chemie eine Querschnittswissenschaft, die sich immer stärker von der biologischen Welt und der mathematischen Ordnung leiten lässt.

Die Chemieausbildung wird diesem Strukturwandel folgen und ihn verstärken müssen. Die Anforderungen an das Forschungsprofil des akademisch ausgebildeten Chemikers kommen zunehmend aus den naturwissenschaftlichen Nachbardisziplinen (Biologie, Physik) sowie aus dem Ingenieurwesen. Soweit an Universitäten noch die jahrzehntelang praktizierte Stofforientierung Bestand hatte, ist sie künftig durch eine Methodenorientierung zu ersetzen, die verstärkt auf Problemlösungsfelder außerhalb der eigenen Disziplin lenkt. Vermutlich wird in absehbarer Zeit die Wagenburg der auf sich reflektierten Chemieausbildung fallen. Die exklusive Ausbildung zum Forschungschemiker gehört der Vergangenheit an – Chemie ist mehr als Chemie für Chemiker. Der Forschungschemiker muss künftig weniger häufig, aber noch viel qualifizierter, noch umfassender ausgebildet sein. Zusätzlich aber besteht für eine Querschnittswissenschaft Chemie Bedarf an Chemikern, die es auf den verschiedenartigsten Gebieten verstehen, Nobelpreiswissen in funktionierende Produkte zu übersetzen. Dieses Produkt wird in der Regel ein chemisches Produkt sein, ein Katalysator, Pharmakon oder Fliesenkleber, mitsamt der zugehörigen Analytik. Das Produkt kann aber auch in einer Dienstleistung, einer Managementaufgabe oder einer Controllingfunktion bestehen. Damit ist gesagt, dass die Universität den Standesdünkel des „Vollchemikers“ ablegen und das für die moderne Zivilisation so wichtige Fach Chemie auch jenen öffnen muss, die es als Bauingenieure, Ökologen, Betriebs- und Finanzwirte oder gar als Journalisten umsetzen wollen. Ein Magisterstudium mit Chemie als Hauptfach? Ein differenziertes, modular aufgebautes Chemiestudium, in dem die Forschungsorientierung eine wichtige von mehreren Möglichkeiten darstellt?

Man wird sehen, wie wir Chemiker uns für die Zukunft arrangieren. Eines aber ist gewiss: Chemisches Wissen ist vielfältiger, ausdifferenzierter und wichtiger denn je. Schon deshalb kann es nicht Herrschaftswissen einer Kaste sein, auch wenn man ihr selbst angehört. Wie überall in der Wissenschaft wird die Kunst darin bestehen, die disziplinäre Tiefe zu retten und zunehmend die fachübergreifende Breite zu schaffen.

Scientia, quae vocatur alchimia

Während chemische Prozesse, allen voran die alkoholische Gärung, seit vielen Jahrhunderten gezielt praktiziert werden, entwickelte sich das Fach Chemie als eigenständige Wissenschaft erst im 18. Jahrhundert. Die „*scientia, quae vocatur alchimia*“ des Albertus Magnus hatte mehr den Charakter einer handwerklichen Kunst und entwickelte sich in einem philosophisch-theologischen Umfeld. Das Streben nach Vervollkommnung lag auch den chemischen Handlungen zugrunde. „*Unsere Wissenschaft handelt von den unvollkommenen Mineralkörpern und ihrer Veredelung.*“ (Geber, Liber Investigationis Magisterii, 13. Jhd.).

Den ersten chemischen Lehrstuhl gab es in der medizinischen (!) Fakultät der Universität Marburg Anfang des 18. Jahrhunderts. Naturforscher wie A. L. Lavoisier, B. Richter, J. Dalton und J. J. Berzelius brachten im Zeitraum von 1770 bis 1820 die Chemie auf den Weg zur Wissenschaft. Justus von Liebig richtete 1834 in Gießen das erste chemische Unterrichtslaboratorium ein und verhalf in seiner Münchner Zeit (ab 1852) durch zahlreiche populärwissenschaftliche Schriften („Chemische Briefe“ in der Augsburger Allgemeinen Zeitung) der Chemie zu öffentlicher Akzeptanz und Wirkung.

Mit Liebig, Hoffmann, Erlenmeyer und Baeyer setzte in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine stürmische Industrialisierung ein, die in kurzer Zeit zu zahlreichen Fabrikprodukten führte. Der Steinkohlenteer war die erste Quelle für moderne Farbstoffe und Arzneimittel (Indigo, Fuchsin, Aspirin). Mit den ersten chemischen Großprodukten setzte die organisierte Chemieforschung in den Industrielaboratorien ein, die seither in mehr oder minder enger Wechselwirkung mit der Hochschulforschung stattfindet. Die wesentlichen Schlüsselentdeckungen der

Chemie erfolgten in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts in deutschen Laboratorien.

Die Forschungsaufwendungen der deutschen Großindustrie betragen im Mittel ca. 5 Prozent Umsatzanteil. Ein Gesamtumsatz von rund 360 Milliarden DM (im Jahr 1995; davon ca. 50 Prozent Inlandsumsatz) wird von etwa 540000 Beschäftigten in Deutschland erarbeitet, deren Zahl in Folge Internationalisierung der Geschäfte sowie Produktionsverlagerung in das Ausland rückläufig ist. Die Konkurrenzfähigkeit wird u. a. durch Investitionen in Höhe von ca. 12 Milliarden DM jährlich aufrechterhalten. Der Umweltschutzaufwand beträgt ca. 10 Milliarden DM. Etwa die Hälfte der deutschen Chemieproduktion stammt aus Großbetrieben, die andere Hälfte aus mittelständischen Unternehmen. Die aus der IG Farben AG nach Kriegsende u. a. hervorgegangenen Unternehmen Hoechst AG, BASF AG und Bayer AG gehören zu den größten Chemiekonzerngesellschaften der Welt. Die Vergleichsumsätze im Inland betragen (1994): Straßenfahrzeugbau 254, Elektrotechnik 230, Maschinenbau 195, Chemie 180 Milliarden DM.

Studium und Beruf

Von wenigen Ausnahmen abgesehen, bieten nahezu alle deutschen Universitäten ein Chemiestudium an, das üblicherweise mit dem „Diplom-Chemiker“ abschließt (Regelstudienzeit 9 Semester, tatsächliche Studiendauer (1994) 12,5 Semester). Etwa 90 Prozent der Absolventen schließen eine Promotionsarbeit an, so dass bis zum Berufseintritt im Mittel 19 Semester vergehen. Die schnellsten „Jungchemiker“ brauchen dafür 14 bis 15 Semester. Die „Ortsfestigkeit“ der Studenten ist groß, Mobilität auch ins Ausland angesichts der bevorstehenden Europäisierung des akademischen Studiums sowie der global expandierenden Chemiemärkte viel zu gering. Herausragende Qualifikation wird durch den Fonds der Chemischen Industrie – im Jahre 1950 von Otto Bayer als „Notgemeinschaft der Deutschen Universitätslaboratorien“ gegründet – in umfangreicher Weise gefördert, u. a. durch zweijährige Promotionsstipendien. Nach Daten des Wissenschaftsrats (1993) studieren Chemiker zusammen mit den Juristen am schnellsten unter allen Disziplinen und werden bis zum Diplomabschluss im Mittel 27,0 Jahre alt. Die

Studentenzahl im Fach Chemie hat sich seit 1989 mehr als halbiert. Derzeit gibt es jährlich ca. 3000 Absolventen, die von ca. 4500 Lehrpersonen (einschließlich Professoren) unterrichtet wurden. Vor wenigen Jahren gab es noch ca. 6000 Chemie-Absolventen jährlich an den deutschen Universitäten. Der Rückgang auf etwa die Hälfte dürfte im Wesentlichen seine Gründe in der tief greifenden Restrukturierung der chemischen Industrie begründet sein – vgl. Hoechst AG!

Das Chemiestudium gliedert sich in zwei Abschnitte: Das Grundstudium schließt nach 4-5 Semestern mit dem Vordiplom ab und vermittelt die Grundlagen der klassischen Teilgebiete Anorganische Chemie, Organische Chemie und Physikalische Chemie sowie der chemienahen Nebenfächer Mathematik und Physik, mancherorts (z. B. TU München) auch Biologie. Das Hauptstudium gestattet die Fächervertiefung und mündet mit einer 6-9-monatigen Diplomarbeit in einer ersten selbstständigen wissenschaftlichen Arbeit. Universitätstypisch können als weitere Hauptfächer die Technische Chemie (an den Technischen Universitäten) und Biochemie studiert werden. Die Lebensmittelchemie (staatl. geprüfter Lebensmittelchemiker) bildet einen eigenständigen Studiengang, der nicht an jeder Universität angeboten wird. Unter einer Vielzahl von Nebenfächern sind zu nennen: analytische Chemie, Kern- und Radiochemie, Makromolekulare Chemie, Theoretische Chemie, Agrikulturchemie, Wasserchemie/Balneologie, Geochemie, Klinische Chemie. Mit dem Chemiestudium verwandt ist das vereinzelt angebotene Studium des Chemie-Ingenieurwesens. Es verbindet die Technische Chemie mit der Verfahrenstechnik und führt zum akademischen Grad „Diplom-Ingenieur“. Die technische Ausgestaltung von physikalischen und chemischen Stoffumwandlungsvorgängen unter besonderer Berücksichtigung der Reaktions- und Apparatechnik ist das wesentliche Ziel dieses in der Industrie stark nachgefragten Studiengangs. Ein viersemestriges Aufbaustudium in Betriebswirtschaftslehre führt zum „Diplom-Wirtschaftschemiker“ (z. B. TU München).

Das Berufsfeld des Chemikers ist breit und zunehmend international. Englische Sprachkenntnisse und Postdoktorandentätigkeit im Ausland sind Regelanforderungen. Die herkömmliche Industrielaufbahn mit ca. 5 Jahren Forschungstätigkeit im Betrieb unterliegt insofern einem Wandel als Management- und Marketingaufgaben frühzeitig gefragt sind, insbesondere bei Unternehmen der

mittelständischen Industrie. Auch die Rechtswissenschaft (z. B. Patentrecht, Umweltrecht, europäisches Recht) wird künftig stärker gefragt und curricular zu integrieren sein.

Von den promovierten Hochschulabsolventen (1800 im Jahr 1994) schlagen ca. 3 Prozent eine Hochschullaufbahn ein. Die deutsche Hochschul-Chemieforschung ist international nach wie vor geschätzt, gilt aber in ihrer Hierarchie als zu wenig flexibel. Die klassische Habilitation steht nicht zuletzt wegen des hohen mittleren Habilitationsalters von 38 Jahren unter Kritik, ganz zu Recht. Eine „Professur auf Zeit“ nach amerikanischem Muster erscheint stattdessen attraktiv und wird derzeit in Bayern diskutiert.

Die weit überwiegende Zahl der Ordinarien im Fach Chemie in der Nachfolge von Justus von Liebig ist immer noch männlich (95 Prozent). Auch ist mit 4 Prozent der Frauenanteil am wissenschaftlichen Personal der Universitäten im Fach Chemie gering, obwohl manche Erstsemesterjahrgänge bis zu 40 Prozent Frauenanteil aufweisen (24 Prozent der Promotionen; 1994). Gleichwohl haben sich die Berufschancen für promovierte Diplom-Chemikerinnen in den letzten Jahren grundlegend verbessert, so dass die Chemie bald nicht mehr zu den typischen „Männerberufen“ gehören wird.