Zeitschrift: Bulletin / Vereinigung Schweizerischer Hochschuldozenten = Association Suisse des Professeurs d'Université

Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Hochschuldozenten

Band: 27 (2001)

Heft: 4

Artikel: Chemie : Vielfalt und Wandel des Materiellen

Autor: Hulliger, Jürg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-894096

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 19.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Chemie: Vielfalt und Wandel des Materiellen

Jürg Hulliger

"Chemistry is the science of substances - their structure, their properties, and the reactions which change them into other substances" (Linus Pauling)

1. Was ist Chemie, was machen ChemikerInnen ?

Wer als Kind mit Meccano oder Lego gespielt, allerlei Gebilde zusammengefügt hat, versteht unmittelbar, was ChemikerInnen machen: Ausgehend von bestehenden Bauteilen können nach erkennbaren Regeln in grosser Vielfalt Strukturen aufgebaut werden, die entweder durch ihre Form oder Funktion faszinieren.

Was sind die Bauteile der Chemie? Protonen, Neutronen und Elektronen können zu stabilen oder instabilen Atomen, den Elementen, zusammengefügt sein. ChemikerInnen haben seit dem Übergang von der Alchemie zur messenden, systematischen und somit modernen Chemie insgesamt 92 natürlich vorkommende Elemente entdeckt. Die im letzten Jahrhundert aufgekommene Kernchemie hat in der Folge die Anzahl der Elemente um 22 künstlich hergestellte erhöht. Künstlich erzeugte Atome haben oft nur eine kurze Lebensdauer. Der Radiochemie ist es kürzlich gelungen, ausgehend von wenigen, in Beschleunigern hergestellten Atomen, erstmals die chemischen Eigenschaften von Hassium (Hs, Element 108) zu untersuchen und dessen Ähnlichkeit mit Osmium (Os) nachzuweisen. Obwohl theoretisch noch Elemente mit besonders hoher Protonenzahl als 'Insel' langlebiger superschwerer Elemente vorhergesagt werden, bleibt der Baukasten der Chemie stabiler, nicht radioaktiver Atome vorerst auf 81 Elemente beschränkt.

Kosmochemisch gesehen sind Elemente, die schwerer als Helium (He) sind, bloss "Sternstaub", rund 2% strahlungsinaktive Materie des Universums. Die aus der Verfügbarkeit des *periodischen Systems* der Elemente mögliche Vielfalt an Strukturen und Funktionen ist - kombinatorisch betrachtet - abzählbar, aber praktisch unerschöpflich: Alles *Materielle* um uns herum, einschliesslich wir selbst, ist Ausdruck dieses Reichtums an Formen und Funktionen. Die Chemie der Moleküle beginnt mit dem Zusammenfügen zweier, dreier etc. gleicher oder verschiedener Atome, bis hin zu komplizierten Strukturen wie Proteinen oder Festkörperstrukturen wie dem Diamant.

Wie aus der Erfahrung mit mechanischen Teilen folgt, so passen auch Atome untereinander nicht in jeder Anordnung (spontan) zusammen. Je nach Stellung im Periodensystem können mit Atomen in Molekülen oder Festkörpern nur bestimmte geometrische Formen hervorgebracht werden. Der Kohlenstoff (C) z.B. tritt vorwiegend in tetraedrischer, dreieckiger und linearer Form auf. Diese dem Element Kohlenstoff eigenen Formen sind weitgehend prägend für die Struktur der Mehrzahl aller kleinen und grossen Moleküle, welche in Kombination mit wenigen anderen Elementen die gesamte belebte Materie aufbauen. Bei Metallen (dem Hauptanteil des Periodensystems) sind andere Geometrien wie die oktaedrische und quadratische Anordnung bekannt.

Als anteilmässig geringer Bestandteil erfüllen Metallionen in Proteinen zentrale Funktionen: Im *Hämoglobin* z.B. werden Sauerstoff- (O_2-) oder Wasser- (H_2O-) moleküle an Eisenionen reversibel gebunden, d.h. diese können wieder freigesetzt werden. Sauerstoff wird so in den roten Blutkörperchen im Metabolismus der Atmung transportiert. Rund um das Eisen sind 5 der insgesamt 6 Positionen an den Ecken eines Oktaeders von Atomen des Proteins besetzt. Die freie Stelle kann von O_2 und andern Molekülen eingenommen werden. Kohlenmonoxid und Cyankali oder Blausäure sind deshalb so giftig, weil CO oder Cyanid den Sauerstoff leicht aus dieser Funktion verdrängen können.

Kann man Atome sehen, nach ihnen greifen? Oder wie machen ChemikerInnen ihre Strukturen?

"No one has ever seen an atom; no one has ever been able to recognize through the agency of the senses a portion of matter so small that it could not in some way be made smaller, ..."
(D.A. Wells, 1860, amerikanisches Chemielehrbuch)

Zu Zeiten des genannten Lehrbuches, auch heute noch, arbeiten wir mit einer riesigen Anzahl von Atomen, Molekülen (etwa 10^{23}). Was wir sehen, messen, ist bestimmt durch die Gesamtheit (Ensemblemittelwert) aller im Experiment vorliegenden Moleküle. Erst in neuester Zeit ist es möglich geworden, Information von einzelnen Molekülen zu erhalten (single molecule spectroscopy). Die Hypothese, dass es Atome, Moleküle "gibt", war noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts umstritten. In der Folge haben die Erkenntnisse der Kernphysik, der Atomphysik (Quantentheorie) sowie unzählige experimentelle Resultate das in der Antike kühn entworfene Bild vom Atom in mancher Hinsicht bestätigt:

"Diese Atome nun, die im unendlichen leeren Raum voneinander getrennt sind und sich in bezug auf Form, Grösse, Lage und Anordnung voneinander unterscheiden, schweben im leeren Raum umher, holen dabei einander ein und stossen zusammen. Dabei prallen die einen ab, wohin es sich gerade trifft, die andern verflechten sich miteinander, je nachdem ihre Form, Grösse, Lage und Anordnung zusammenpasst, und bewirken dadurch die Entstehung der zusammengesetzten Stoffe."
(Demokrit).

Mit der ultrafein auslaufenden Spitze eines Tunnelmikroskops kann durch Messung eines sehr kleinen elektrischen Stroms zwischen den Atomen der Spitze und einem einzelnen Atom die Gestalt dieses Atoms abgebildet werden. Obwohl hier aus fundamentalen Gründen (Heisenbergsche Unschärfe-Relation) die Art des "Sehens", das "zu Sehende" beeinflusst, zeigen quantenmechanische Rechnungen, dass durch rastersondenmikroskopische Experimente die Form von Atomen und Molekülen (welche auf einer geeigneten Oberfläche vorliegen) realistisch abgebildet werden kann. Mehr noch: Durch verstärkte Einwirkung des Fühlers, der Spitze des Mikroskops, können einzelne Atome oder Moleküle auf Oberflächen herumgeschoben, zu Formen zusammengefügt werden. Dank dieser seit etwa 10 Jahren durchführbaren Synthese von Formen (1991), hat die Chemie ihr Fernziel erreicht: Wir können nicht nur anhand eines Ensembles spielerisch in den Baukasten greifen und Formen nach unserer Vorstellung aufbauen - dies ist sogar mittels Handhabung weniger Atome, Moleküle möglich geworden.

Die chemische Synthese hat vor Jahrhunderten selbstverständlich anders begonnen: Ohne nach heutigen Erkenntnissen genau zu wissen, was vorging, aber getragen von zeitbedingten Strukturmodellen, wurden Stoffe zu neuen Stoffen umgesetzt. Und dies kreuz und quer durchs ganze Periodensystem. Je nach dem, auf welchen "Feldern" gearbeitet wurde, sprach man von *organischer* oder *anorganischer* Chemie. Letztlich folgt aber alles denselben Regeln einer Chemie. Aus der etwa seit 200 Jahren andauernden Synthesetätigkeit sind bisher rund 30 Millionen chemische Verbindungen hervorgegangen.

Die Vielfalt an chemischen Reaktionen kann durch wenige Prinzipien beschrieben werden: Bei der Umsetzung von Atomen und Molekülen gilt, dass die total in einer Reaktion eingesetzte Masse über den gesamten Prozess hin *konstant* bleibt. Im Vergleich zur Kernchemie ist bei diesen Umsetzungen die freiwerdende Energie wesentlich kleiner.

Die *chemische Thermodynamik* beschreibt die Energieumsätze von Reaktionen. Reaktionen laufen dann von selbst (spontan) ab, wenn Energie vom Reaktionssystem abgegeben werden kann. Dieses Prinzip ist grundlegend für die Technik und die Funktionsweise von Lebewesen: Wir verbrennen Benzin, Holz etc., um Energie, Wärme zu gewinnen. In Metabolismen wird durch Hydrolyse (Reaktion mit Wasser) Adenosintriphosphat zu Adenosindiphosphat umgewandelt, wobei etwa 40 kJ/mol an Energie frei werden.

Alkane (C-H-Verbindungen) sind gegenüber der Verbrennung zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) weniger stabil. Aber warum braucht es eine Zündkerze, ein Streichholz, um Feuer zu entfachen? Chemische Reaktionen brauchen Zeit. Der zeitliche Verlauf von Reaktion wird von der *chemischen Kinetik* beschrieben. Damit eine Reaktion anlaufen kann, muss in den meisten Fällen eine energetische Aktivierung erfolgen. ChemikerInnen machen das oft so, dass sie ein Reaktionsgemisch etwas erwärmen. Ein technisch wichtiger, anderer Weg besteht darin, einen *Katalysator* zu verwenden, das ist ein Stoff, welcher die erforderliche Aktivierungsenergie einer Reaktion vermindert, ohne selbst durch das Reaktionsgeschehen verbraucht zu werden. Die Verbrennungsmotoren nachgeschalteten Metallkatalysatoren dienen dazu, gebildetes Kohlenmonoxid (CO) in CO_2 umzuwandeln.

Die kinetische (zeitliche) Hinderung von Reaktionen, die sonst ungehindert ablaufen würden, ist von grösster Bedeutung: Biologisch relevante Moleküle (Proteine, Zellstoff) sind gegenüber der Umsetzung mit Sauerstoff, thermodynamisch betrachtet, *instabil*. Und woher stammt der gebundene Energieinhalt dieser Stoffe? Die durch Verbrennung fossiler Ablagerungen freiwerdende Energie wurde einst von der Sonne eingefangen. Der Prozess der Photosynthese in Pflanzen wandelt photonische Energie in chemisch gebundene Energie um. Die Funktionsweise des photochemischen Zentrums im Chlorophyll, dem Blattgrün, ist weitgehend verstanden. Grosse Anstrengungen werden unternommen, um analoge, synthetisch arbeitende Systeme zu entwickeln. Ein wesentlicher Schritt bei dieser Art der Energieumwandlung besteht darin, eine elektrische Ladungstrennung (Elektronentransport) zu erreichen. In diesem Sinne besteht eine funktionelle Analogie zur Sonnenzelle auf der Basis von Halbleitermaterialien.

Die chemische Syntheseplanung mit zugehörigen Methoden wurde im Verlauf der Zeit stoffspezifisch entwickelt und kann hier nicht im Einzelnen dargestellt werden. Klassisch gesehen wurde angestrebt, aus gut charakterisierten, rein vorliegenden Ausgangsstoffen neue Verbindungen wiederum in reiner Form und mit gutem Umsatz herzustellen. Synthesechemie ist eine ausgesprochen *praktische* Wissenschaft. Auch heute werden immer noch die meisten neuen Verbindungen durch *Handarbeit* im Labor erhalten. Syntheseroboter sind aber ebenfalls im Gebrauch: Aus Aminosäuren können automatisiert peptid-gebundene Kettenmoleküle aufgebaut werden.

Eine neue Richtung in der Synthese basiert seit einigen Jahren (1994) auf *kombinatorischen* Prinzipien: Anstatt nur eine oder wenige Verbindungen in reiner Form und guter Ausbeute herzustellen, wird angestrebt, auf einmal eine ganze Bibliothek von Verbindungen zu erhalten. Dieser Ansatz ist besonders in der biochemischen Forschung von Interesse: Rezeptoren können Moleküle mit spezifischer Funktion in Gegenwart anderer Moleküle *selektiv* erkennen. Damit können Wirkstoffe in Screening-Verfahren effizient getestet werden. Im Bereich der Materialforschung erweist sich die Kombinatorik ebenfalls als nützlich: Bei der Suche nach neuen Katalysatoren werden entsprechende Reaktionsgemische räumlich auf einer Trägerplatte verteilt (Pixel-Technik). Nach Reaktion zum möglichen Katalysator wird die Wirksamkeit einzelner Reaktionsflecken (Pixel: neue Katalysatoren) über die Menge der abgestrahlten Reaktionswärme einer zu katalysierenden Reaktion detektiert.

Nebst der synthetischen Aktivität hat die Chemie unzählige analytische Verfahren entwickelt, um die Zusammensetzung nach Elementen, die räumliche, elektronische und magnetische Struktur von Molekülen, die räumliche Struktur von Kristallen und anderen Festkörpern aufzuklären. Als extrem sensitive Methode zur Erfassung weniger Moleküle dient heute die Polymerase-Kettenreaktion (PCR). Durch diese neue Technik konnte bezüglich der bisherigen Proteinanalytik die Nachweisgrenze um etwa einen Faktor 1000 gesteigert werden.

"Supramolecular chemistry is a highly interdisciplinary field of science covering the chemical, physical, and biological features of the chemical species of greater complexity than molecules themselves, that are held together and organizedby means of intermolecular (non-convalent) binding interactions." (Jean-Marie Lehn, 1995)

Die Chemie war lange die Wissenschaft vom Aufbau und dem Zerlegen von *Molekülen*. Unter dem Begriff *supramolekulare* Chemie wird seit etwa 25 Jahren ein Konzept ausgearbeitet, das über das Machen von Molekülen hinausgeht. Intermolekulare Wechselwirkungen sind um mehr als eine Grössenordnung energieärmer als die Bindungen, welche Moleküle zusammenhalten. Obwohl schwächer, sind diese Wechselwirkungen von grösster Bedeutung: Die Stränge der DNA werden durch intermolekulare Wechselwirkungen zwischen Nukleotiden, die zu verschiedenen Strängen gehören, zusammengehalten. Derart gebundene Stränge können durch Erwärmung getrennt, durch Abkühlung wieder zusammengefügt werden. Die intermolekulare Strukturbildung wird in diesem Fall durch Basenpaare bewerkstelligt.

Ein Beispiel aus der Welt der Kristalle: Bei der Kristallisation von Naphthalin bleibt die Form der Naphthalinmoleküle erhalten. Diese lagern sich im Verlauf der Kristallbildung geordnet aneinander. Wiederum ist die wirksame Energie der Kristallbildung um ein Vielfaches kleiner als bei der Bildung der Moleküle.

Strukturierung und Umwandlung von Materie

Die Chemie im verallgemeinerten Sinne läuft demnach auf drei Ebenen ab:
I Chemie der Atomkerne,
II Chemie der Moleküle,
II Chemie der supramolekularen Formen.

Zur Zeit ist die supramolekulare Forschung auf vielen Gebieten der Anwendung (biologisch und materialwissenschaftlich orientiert) voll im Gange und überrascht immer wieder mit faszinierenden Formen und Funktionen. Ein Beispiel: Zuckerkranke brauchen äusserlich zugeführtes Insulin. Die optimale Dosierung von Insulin ist dabei ein Problem. Durch supramolekulare Chemie wurde eine Kristallform von verändertem Insulin hergestellt, welche nach dem Spritzen als Emulsion eine zeitlich stark verbesserte Dosierung ergibt. Die theoretische Physik und Chemie schaffen im Kontext der beschriebenen Grundlagen Voraussetzungen, um molekulare und supramolekulare Strukturen, auch Eigenschaften, computertechnisch vorherzusagen.

2. Chemie, moderne Naturwissenschaft und gesellschaftliche Relevanz

"Nicht die Gesellschaft soll bestimmen, was man herausfinden darf."
(R.M. Zinkernagel, Der Bund, 5.10.2001)

Seit der Zeit der Aufklärung hat die Chemie einen Weg eingeschlagen, der sie zusammen mit der Physik, Biologie und Medizin zu einem transparenten und intellektuell nachvollziehbaren Wissen hat werden lassen. Um Chemie verstehen zu können, genügen grundlegende Kenntnisse aus der Mathematik und Physik: Es gibt kein Phlogiston, keine eigentlich chemischen Kräfte. Die Einbindung in andere Disziplinen der Naturwissenschaften zeigt, dass seit längerer Zeit die Chemie ein integraler Bestandteil des modernen Programms zum Verstehen, Nachahmen und Weiterführen von Naturphänomenen geworden ist. Obwohl transdisziplinär orientiert, hat die Chemie ihre Eigenheit, die zentrale Aufgabe stets beibehalten: Das Isolieren, Synthetisieren und Charakterisieren von Stoffen.

Seit dem 19. Jahrhundert haben chemische Prozesse stark zur Veränderung und Entwicklung von Gesellschaften beigetragen. Hungersnöte in Europa stellten, bedingt durch geringe Erträge, Ernteausfälle und Verluste bei der Lagerung, lange eine latente Gefahr dar. Durch die Einführung von Kunstdünger wurden die Erträge erhöht, Pflanzenschutz und Konservierung haben mitgeholfen, dass die Ernährung in Europa sichergestellt wurde.

Lange Zeit litt die Landwirtschaft unter der Konkurrenz zur Natur: Natürliche Pflanzenarten haben das Wachstum der Kulturpflanzen unterdrückt. Pilze und Insekten konnten ganze Ernten vernichten. Bauern waren bis Mitte des letzten Jahrhunderts darauf angewiesen, z.B. Insekten abzusammeln, Unkräuter auszureissen, etc.: "U46: Eine Spritze macht im Mai tausend Felder unkrautfrei" (BASF Werbung, 1949). Das Haber-Bosch Verfahren (1913) ermöglichte erstmals den grosstechnischen Umsatz der Elemente Wasserstoff (H_2) und Stickstoff (N_2) zu Ammoniak (NH_3), das zu vielen Folgeprodukten und zu Düngemittel umgesetzt werden kann.

Nebst NH_3 wurde an vielen Orten Schwefelsäure (H_2SO_4) hergestellt, welche anstelle der zuvor verwendeten Milch zum Bleichen von Leinen Verwendung fand. Bedürfnisse im "out-fit", der Mode etc., haben nach mehr Farbtönen verlangt, als Pflanzenproduzenten hervorbringen konnten. Als entdeckt wurde, dass gewisse synthetisch hergestellte Farbstoffmoleküle antiseptische Wirkung aufweisen, expandierte die Farbenindustrie in ihren heute wichtigsten Sektor: die Pharmaprodukte. Auf anderen Gebieten hat z.B. die Aluminiumherstellung es ermöglicht, das Gewicht von Zeppelinen zu reduzieren, hat in der Folge die Metall-Leichtbau-Konstruktion herbeigeführt. Eine Uhr galt einst als wertvoll, wenn diese viele Rubine als Lagersteine eingebaut hatte. Rubine sind sehr teuer. Das Verfahren von August Verneuil (1902) hat es erstmals erlaubt, künstliche Edelsteine in grosser Zahl industriell herzustellen. In den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts führte das Siemensverfahren (1953) ins *Siliziumzeitalter* der Halbleiterelektronik und Computer: Ohne eine chemische Reinigung des Siliziums (Si) von Bor (B) und Phosphor (P), Verunreinigungen, die durch Zonenschmelzen nur höchst ineffizient abtrennbar sind, wären moderne Computer unbezahlbare Maschinen!

Zur gleichen Zeit hat ein weiteres Wahrzeichen der technisierten Welt des 20. Jahrhunderts seinen Aufschwung erfahren: die Kunststoffe. Seither sind vor allem grosse Fortschritte auf dem Gebiet der Isolierung, Strukturaufklärung und Synthese von biologischen Makromolekülen (DNA, Proteine) erzielt worden. Die Aufschlüsselung von Genomen ist das Resultat von molekularer Strukturforschung. Die Gentherapien der Zukunft werden aus einer Zusammenarbeit von Biochemie, Biologie und Medizin hervorgehen.

Auf der Basis einer hochempfindlichen und differenzierten Analytik hat sich im Zeichen der Ernüchterung ob dem Höhenflug an materiellem Fortschritt die Umweltchemie, Umweltanalytik herausgebildet. Das Studium von Gasreaktion in Bodennähe und in der Stratosphäre haben z.B. die Bedeutung der Ozon (O_3)- Chemie erkennen lassen.

Wir könnten die Aufzählung der Beiträge von Chemie beliebig fortführen. Das erscheint nicht mehr nötig zu sein: Alles um uns herum ist von chemischen Vorgängen mitgeprägt. Das Verständnis von chemischen Zusammenhängen ist zentral für den rationalen und technologischen Umgang mit dem Materiellen. Über das 19. Jahrhundert hinweg, bis über die Jahrhundertwende hinaus, hatten ChemikerInnen einen hohen Status, waren oft geschäftsführend an Betrieben mitbeteiligt.

Mit der Zeit wurden Finanzleute, Juristen höher eingestuft - der Abstieg zu "SachbearbeiterInnen" setzte ein. Erfreulich, dass heutzutage zahlreiche "spin off"- und "start up"- Firmen wiederum von ChemikerInnen gegründet und geleitet werden.

"Ich glaube nicht, dass eine industrialisierte Gesellschaft ohne Chemie und ohne vertiefte Kenntnisse in diesem Bereich bestehen kann. Bei all den aktuellen Fragen zu Ökologie, Gentechnik und Molekularbiologie wird der Bedarf sogar noch zunehmen".
(Luzius Senti, alt Präsident Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft, in Vision, 2001, 2, 22-23)

Und warum hat die Chemie in neuerer Zeit einen schlechten Ruf?

Chemische Systeme haben zwei einschlägige Eigenschaften:
1. Bei einer chemischen Reaktion kann in kürzester Zeit viel Energie freigesetzt werden (Explosivstoffe).
2. Spezielle Stoffe können auf biologische Systeme verheerend destruktive Wirkungen zeigen (Gifte).

Viele pflanzliche, tierische Giftstoffe (oft Proteine), daneben auch z.B. Dioxin, Dimethylquecksilber und Plutonium sind schon in kleinsten Mengen höchst toxisch. Andere Stoffe wie Blei, Arsen (Pb, As) DDT werden in Zellen akkumuliert und können zu Spätschäden führen. Die meisten von ChemikerInnen hergestellten Stoffe sind ungeniessbar bis giftig. Aufgrund von komplexen und oft nicht näher bekannten Stoff-Metabolismus-Wechselwirkungen sind Stoffe, welche ohne Beachtung derart möglicher Zusammenhänge auf den Markt gebracht werden oder in Abfälle gelangen, äusserst gefährlich. Die Medikamentenentwicklung beschreitet daher einen langen Weg, bis Patienten ein neues Präparat beziehen können. Und dennoch bleibt ein Restrisiko, kommt es zu verheerenden Unfällen (Lipobay, Bayer, 2001).

Der Umgang und das Verlangen nach Produkten der Chemie, Biochemie und Genmedizin verlangt von ChemikerInnen, ProduzentInnen und AbnehmerInnen eine grosse Verantwortung. Mit Chemie ist fast alles möglich geworden, doch wird sich selten nur Nutzen ohne Risiko einstellen. Die ChemikerInnen müssen ihre Produkte, die damit verbundenen Gefahren kennen - die Gemeinschaft der Betroffenen soll darüber befinden, ob sie das Risiko einer Anwendung eingehen will.

Orte wie Ypern (Chlorgaseinsatz, 1915), Vietnam (Napalm, Agent Orange), Minamata Bay (Quecksilberabfälle im Meer, 1956), Seveso (Dioxinausstoss, 1976) und Schweizerhalle (Chemiegrossbrand, 1986) erinnern daran, dass fehlgeleitetes Potential von Chemie katastrophale Folgen haben kann. Der verantwortungslose Umgang mit den Möglichkeiten der Chemie hat die Chemie und ChemikerInnen an sich in Verruf gebracht. In den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts setzte in den USA zum Verhältnis Chemie - Gesellschaft die kritische Diskussion ein, welche danach auf Europa übergriff. *Ist die Chemie gefährlicher als andere Errungenschaften?* Dazu dass unsere Gesellschaft, die durchgängig von chemischen Erzeugnissen abhängt, wieder eine positiv-kritische Einstellung findet, können ChemikerInnen beitragen, indem sie innerhalb von Aus- und Fortbildungsprogrammen, vor allem in der Öffentlichkeit, dem Wissen vom Wandel des Materiellen, der Chemie, einen angemessenen Platz schaffen.

3. Campus Chemie: klassische und neue Ausbildungsmodelle

"...; ce laboratoire était ouvert à tous les étudiants qui se sentaient particulièrement attirés par l"étude de la chimie; pour y entrer, il n"était besoin d"aucun diplôme et il n'y avait à subir aucun examen. Heureux temps!" *(Biographie zum Studium von Auguste Verneuil, 1873)*

Chemie ist Schulstoff, je nach Ort, ab dem 6. Schuljahr. Die Sekundarstufe vermittelt wenig, Gymnasien bedeutend mehr. Die meisten Entscheidungsträger in Wirtschaft und Politik erfahren nie mehr über Chemie, als was bis zu dieser Stufe vermittelt wurde.

In der Schweiz erfolgt der universitäre Hochschulabschluss in Chemie nach 8 bis 9 Semestern. Angesichts der Komplexität des Faches erscheint das Chemiestudium als kurz, z.B. im Vergleich mit den Geisteswissenschaften. Ein hoher Prozentsatz von AbsolventInnen setzt ihr Chemiestudium mit einer Dissertation fort, die 3 bis 4 Jahre Forschungsarbeit beansprucht. Jene, die ihre Forschungserfahrung weiter ausbauen möchten, wechseln oft die Arbeitsthematik und gehen als Post-doktorandIn für ein bis drei Jahre ins Ausland, traditionell in die USA. Typischerweise verweilen somit ChemikerInnen 9 bis 10 Jahre an der Universität. In anderen Fächern, wie Physik, Biologie, Geowissenschaften etc. liegt eine vergleichbare Situation vor. Wir sind geneigt anzunehmen, dass in den USA und in Japan alles viel schneller verläuft als bei uns. Dem ist nicht so, zumindest für gute Schulen.

Im ersten Studienjahr nehmen Vorlesungen in Mathematik, Informatik, Physik und oft auch Biologie mehr Raum ein als Chemie. Dies entspricht den Erfordernissen der Chemie innerhalb der Naturwissenschaften. Charakteristisch für die Chemieausbildung ist ein hoher Anteil an Laborpraktika. Früher selbstverständlich, heute weniger verbreitet, geben Experimentalvorlesungen in Chemie und Physik einen nachhaltigen Eindruck zu elementaren Phänomenen. Im zweiten bis vierten Studienjahr wird Vertiefung und Breite angestrebt. Klassische Teilgebiete sind anorganische, organische, physikalische Chemie und Biochemie. Die ETH"s bieten ein Chemieingenieurstudium an. Des weiteren wären die Lebensmittelchemie und die Umweltchemie zu nennen. Vermehrt bieten Hochschulen Chemie und Biochemie als separate Studiengänge an.

Rund 200 kleinere und mittlere Betriebe in der Schweiz bevorzugen oft einen anderen Ausbildungsweg für ihre MitarbeiterInnen: ChemielaborantInnenlehre mit Fachhochschulausbildung. Ein Fachhochschuldiplom berechtigt zum Übertritt ins universitäre Chemiestudium (erfahrungsgemäss in die Mitte des Studiums).

Europaweit wird gegenwärtig der anglo-amerikanische Aufbau von Studiengängen diskutiert (Bologna-Modell): Ein Chemiestudium könnte in Zukunft 180 ECTS (European Credit Transfer System) bis zum *Bachelor*-Abschluss und weitere 60-120 ECTS bis zum *Master*-Diplom erfordern. Vom Bachelor Abschluss wird keine Berufsbefähigung erwartet. Diese Stufe soll die Mobilität innerhalb der Fächer fördern. Beinhaltet ein Master 90-120 ECTS, so gibt dies Gelegenheit, die Ausbildung in der Schlussphase zu erweitern. Die ETH Zürich wird demnächst mit einem BM Chemiestudium starten.

Die Idee der Vergabe von speziellen Master Diplomen ist attraktiv im Bereich der Ausbildung nach 240-300 ECTS, z.B. während des Doktorats. AbsolventInnen können so zusätzliche Qualifikationen erwerben. Es ist abzusehen, dass in Zukunft von Universitäten eine Vielfalt von Sonderausbildungen (Weiterbildungsprogramme) angeboten werden.

Neue Formen des Studierens kommen auf: *"virtual campus"* oder *"distributed learning"* heissen die Schlagworte, die in den USA schon zum Alltag gehören. Ob Chemie jemals nur ab Web und mittels Simulatoren erlernt werden kann, wird die Zukunft zeigen. Auf jeden Fall sind in den nächsten 10 Jahren grosse Veränderungen bezüglich Universitätsbetrieb und Chemiestudium zu erwarten. Dies stellt eine grosse Herausforderung dar, nicht nur für die DozentInnen, vor allem für die Studierenden: Je mehr von durch persönlichen Austausch und Vorbild geprägter Ausbildung (Oxford, Cambridge Colleges) abgewichen wird, desto wichtiger werden Eigenmotivation, Selbstorganisation im Lernen und Kommunikationsfähigkeit einschliesslich Sozialkompetenz. Angesichts der gesellschaftlichen Bedeutung der Chemie sehe ich persönlich folgenden Weg in die Zukunft:

- Weniger Standorte für die Chemieausbildung, dafür komplementäre Ausbildungsgänge (Aufgabenteilung zwischen einzelnen Universitäten, Fachhochschulen)
- ausgeglichene Finanzierung der Standorte
- Topbetreuung und hoher Ausbildungsstandard von international akquirierten StudentInnen, Ausbildungssprache Englisch
- Durchlässigkeit im Sinne der transdisziplinären Situierung der Chemie.

Im Zeitalter kleiner Studentenzahlen müssen wir versuchen, vorab mit motivierten und begabten jungen Leuten das Maximum für die Chemie und die Gesellschaft zu erreichen.

Chemie als Wissenschaft - Pharmazeutische Chemie

Gerd Folkers

1) Kann man Links und Rechts durch Riechen unterscheiden?

Man kann. Und es ist dies ein sehr gutes Beispiel dafür, mit welchen chemischen Fragestellungen sich die Pharmazeutischen Wissenschaften befassen. Parfums sind komplexe Mischungen aus einzelnen Duftstoffen, die selbst wieder eine zum Teil recht komplizierte molekulare Struktur haben. Das heisst nicht unbedingt, dass sie besonders gross oder aus besonders „exotischen Atomen" aufgebaut wären. Ihre Komplexität ist bedingt durch ihren dreidimensionalen Bau, ihre molekulare Architektur.