

# Chemie

Von Prof. Dr. Henning Hopf

Die Wissenschaft Chemie darf nicht mehr in den engen Disziplingrenzen des 19. und 20. Jahrhunderts gesehen werden. Die klassischen Disziplinen sind den Ländern oder Erdteilen auf einer Karte vergleichbar, mit scharfen Grenzlinien, die oft nicht überschritten werden durften und mit Nachdruck verteidigt wurden. In der Chemie der Zukunft gelten andere Einteilungskriterien, z. B. solche, bei denen es um die Funktion und Wirkungsweise von Stoffen geht oder ihre Dimensionen - von (vergleichsweise großen) biologischen zu (kleinen) molekularen und atomaren Objekten. Diese Betrachtungsweise führt zwangsläufig zu inter- und transdisziplinärem Arbeiten. An die Stelle des Forschungsreisenden und Entdeckers neuer (molekularer) Kontinente, der eine Mannschaft anführt, tritt das Team aus Spezialisten und Spezialistinnen, die dazu in der Lage sind, komplexe Zusammenhänge aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu betrachten und ihre jeweiligen Methoden zur Problemlösung einzusetzen. Der Physiker Alvin Weinberg misst die Bedeutung einer Wissenschaft daran, wie stark sie sich auf andere Wissensgebiete auswirkt, er spricht von "relatedness". Diese ist gerade für die moderne Chemie als einer "central science" überaus groß - auch wenn gelegentlich ihr Profil verloren zu gehen scheint bzw. es sich ändert: die Chemie wird zur Molekularwissenschaft par excellence.

## Eine kurze Geschichte der Chemie

Dass sich die enorme Vielfalt der Welt - die uns umgebende Natur und auch wir selbst - auf ein "Aufbauprinzip" zurückführen lassen könnte, in dem eben diese Vielfalt aus kleineren Bausteinen erzeugt wird, hatten bereits die frühen griechischen Philosophen vermutet. Und die Entwicklung der Chemie, die sich, von Alltagsbeobachtungen ausgehend, über die Alchemie in rund 2000 Jahren zu einer exakten Naturwissenschaft entwickelt hat, hat diesen Spekulationen recht gegeben. Heute wissen wir, dass es rund 100 Bausteine, die "chemischen Elemente" gibt, aus denen unsere Welt besteht - und das schließt das Universum, so wie wir es bisher kennen, ein - und die durch eine unendliche Zahl von Kombinationen und Anordnungen zu immer neuen Strukturen zusammengesetzt werden können. Die Wissenschaft, die sich systematisch mit diesem Umbau der Materie beschäftigt, ist die Chemie, die Wissenschaft von der Metamorphose der stofflichen Welt.

Viele dieser Stoffe haben sich im Laufe von uns unvorstellbaren Zeiträumen im "Laboratorium Erde" scheinbar von selbst gebildet. Isolieren wir diese Stoffe heute aus der lebenden Natur, so bezeichnen wir sie als "Naturstoffe"; das Reservoir struktureller Vielfalt, das die Natur uns zur Verfügung stellt, ist bis heute auch nicht annähernd ausgeschöpft, ja, wir kennen nicht einmal seine Größe und Komplexität. Im Grunde genommen zählen auch die Mineralien und Erze - also die "nichtlebende" Natur - zu den Naturstoffen, werden aber aus historischen Gründen nicht unter diesem Begriff zusammengefasst.

Neben dieser natürlichen, gegebenen Chemie hat sich seit dem Ende des 18. Jahrhunderts, zuerst langsam und dann immer rascher, eine synthetische Chemie entwickelt. Eine Chemie, bei der wir Menschen gezielt, mit den obigen Bausteinen experimentieren, sie zu immer neuen Kombinationen zusammensetzen, um zum einen unser Wissen über die Verknüpfungsmöglichkeiten und die sie beherrschenden Gesetze zu erweitern (“Grundlagenforschung“), zum anderen aber um praktische, gesellschaftliche Wünsche zu befriedigen (“angewandte Forschung“), die von einer gesicherten Ernährung, über die Abwendung von Krankheiten bis zur Befriedigung unseres Bewegungsdrangs und unseres (überlebenswichtigen) Informationshungers reichen, um nur einige wichtige Gebiete aufzuzählen. Eine strikte Trennung von Grundlagen- und angewandter Forschung ist nicht möglich, die Übergänge zwischen beiden Gebieten sind fließend.

## **Chemie und Natur**

Die chemischen Elemente haben sich in einem Evolutionsprozess gebildet, der lange vor den Vorgängen ablief, die schließlich zu dem führten, was wir heute “Leben“ nennen. Leben ist ohne die chemischen Elemente unmöglich, das heißt aber nicht, dass jedes chemische Element förderlich für das Leben und sein Fortbestehen wäre. Das Gegenteil ist richtig, es gibt zahllose Stoffe - sowohl Elemente als auch komplexe, in der Natur aus ihnen entstandene Verbindungen - die für uns Menschen hochtoxisch und absolut tödlich sind. Anders ausgedrückt: die Stoffe der Natur haben bestimmte Eigenschaften, die sie aufgrund der naturwissenschaftlichen Gesetze haben müssen, sie sind aber nicht dazu da, um uns Menschen dienlich zu sein. Wir können sie nutzen, und wenn wir das weise und mit Bedacht tun, können wir mit ihre Hilfe eine besseres, längeres, gesünderes und insgesamt angenehmeres Leben führen. Das ändert an ihren Eigenschaften nichts und folglich werden wir bei den erwähnten Stofftransformationen und Neukombinationen auch immer mit für uns giftigen Stoffen zu tun haben. Es ist eine Aufgabe der Chemie, diese unabänderlichen Risiken der Stoffveränderung zu minimieren und zu beherrschen. Eine für uns Menschen “ungiftige“ Chemie kann und wird es nicht geben.

Die gesellschaftlichen Entwicklungen der letzten Jahrzehnte haben den Menschen nachdrücklich vor Augen geführt, dass sie in einem System begrenzten Ressourcen leben. Für die Chemie ist das offenkundig. Spätestens seit den verschiedenen Erdölkrisen haben wir erkannt, dass das Erdöl, auf dem ein beträchtlicher Teil der von uns erzeugten Synthesestoffe, seien es Kunst- oder Farbstoffe, Medikamente, Agrochemikalien etc. beruht, in von Menschen erfassbaren Zeiträumen erschöpft sein wird. Aber dieses Ende bestimmter, von der Natur zur Verfügung gestellter Ausgangsmaterialien zeichnet sich auch für viele andere Stoffe ab, viele Metalle - ohne die es beispielsweise keine Informationstechnologie gäbe - aber auch lebenswichtige Stoffen wie etwa Phosphat (Düngemittelherstellung) werden in absehbarer Zeit “erschöpft“ sein.

Aber sind sie damit verschwunden? Nein, das sind sie nicht. Die chemischen Elemente sind, sieht man von Prozessen der Kernumwandlung ab, wie sie im Kernreaktor oder der Atombombe verlaufen - “ewig“. Aber sie werden durch die menschlichen Aktivitäten zunehmend in eine Form gebracht, die den Menschen (und vielen anderen Lebewesen) nicht mehr dienlich, im Einzelfall sogar schädlich ist. Das erwähnte Erdöl wird von uns

überwiegend bei der Energieerzeugung in das Treibhausgas Kohlendioxid (und Wasser) umgewandelt, Metalle durch die menschliche Nutzung in eine letztlich statistische Verteilung gebracht. Es ist keineswegs so, dass diese Prozesse unumkehrbar wären: ein Metall, das in Form von Salzen gleichmäßig über die Ozeane der Erde verteilt wäre, ließe sich durchaus wieder in seinen metallischen Urzustand verwandeln. Aber nur durch einen Aufwand, der seinen Wert und seine Bedeutung entscheidend überstiege. Auch aus Kohlendioxid lässt sich durch die chemische Synthesekunst wieder Rohöl herstellen, aber mit Prozessen, die soviel Aufwand erforderten, dass sein Wert in keinem Verhältnis zu den Kosten stünde.

## **Zukünftige Zielsetzungen der Chemie**

Bedeutende Entwicklungen auf dem Gebiet der Chemie - und angrenzender Gebiete - werden regelmäßig mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Welche Leistungen hier belohnt wurden, kann man bequem über das Internet erfahren (Link: [nobelprize.org](http://nobelprize.org)). Die dort aufgeführten Texte sind allgemein verständlich geschrieben und ermöglichen eine rasche Orientierung. Interessant ist es hier zu sehen, wie sich in neuerer Zeit die Grenzen zu den Nachbarwissenschaften immer weiter auflösen, besonders zur Biologie und Biochemie. Dass Chemienobelpreise für Leistungen auf einem ausschließlich chemisch definierten Arbeitsgebiet verliehen werden, wird immer seltener.

### **Sparsamer Umgang mit Energie**

Die erste zu erfüllende Forderung an eine "Chemie der Zukunft" ist die des sparsamen Umgangs mit Energie und Materie. Gerade Chemiker, als die für stoffliche Transformationen entscheidenden Wissenschaftler, müssen ein Gefühl der Verantwortung gegenüber Energie und Materie entwickeln. Bedarfs- und Verbrauchsdrosselung muss die Devise sein, die gleichwohl mit einem für die nächsten Jahrzehnte unverzichtbaren wirtschaftlichen Wachstum in Einklang gebracht werden muss. Bei der Entwicklung von Produkten und Synthesen muss nicht nur an die Herstellung neuer Strukturen gedacht werden, sondern auch an ihre Rückführung in einen Zustand, der die Wiederverwendung ermöglicht (Recycling). Das klassische, lineare Wachstumsdenken, ist durch cyclisches Denken und Planungen zu ersetzen. Die Vorbilder hierfür finden sich in den Stoffkreisläufen der Natur.

### **Effizienzsteigerung**

Natürliche Prozesse sind auch das Vorbild für die zweite Forderung: Effizienzsteigerung der von uns Menschen ersonnenen chemischen Transformationen. Die im Laufe der Jahrmillionen entstandenen natürlichen Stoffumwandlungen, sind überwiegend

katalytischer Natur, sie laufen in Wasser unter Normalbedingungen (Atmosphärendruck, Umgebungstemperatur) hocheffizient und hochselektiv ab, das heißt von unendlich vielen für komplexe Stoffe bei gegebener Atomzahl möglichen Realisierungsmöglichkeiten wird eine einzige, mit exakt festgelegter Verteilung der "Bausteine" im dreidimensionalen Raum verwirklicht. Hiervon ist die "synthetische Chemie" weit entfernt - verständlich, wenn man daran denkt, in welchen Zeiträumen "natürliche" und "künstliche" Umwandlungsprozesse entstanden sind. Zukünftige chemische Transformationen werden sich durch hohe Ausbeuten, hohe Selektivität, Vermeidung von Nebenprodukten, Minimierung des Ressourcenverbrauchs etc. auszeichnen. Ja, die Suche nach derartigen (neuen) Syntheseprozessen wird - wie eh und je in der Chemie - auch in Zukunft eine zentrale Aufgabe dieser Wissenschaft sein müssen.

## **Wechsel der Rohstoffbasis**

Die dritte wichtige Forderung betrifft die eines Wechsels der Rohstoffbasis. Genaugenommen gilt dieses überwiegend für die industrielle Organische Chemie. Ein derartiger Wechsel ist diesem mengenmäßig so wichtigen Gebiet der industriellen Produktion schon einmal gelungen, nämlich während der 1950er Jahre, als die Kohle als wichtigstes Basismaterial durch das Erdöl ersetzt wurde. Der nunmehr anstehende Wechsel betrifft den Übergang von den fossilen Ausgangsmaterialien (Kohle, Erdöl, Erdgas) zu nachwachsenden Rohstoffen, zur Biomasse. Für die industrielle Organische Chemie der Zukunft ist die Forderung zu erheben, dass sie all das, was sie bisher aus Erdöl oder Erdgas produziert hat, Ausgangsstoffe, die in "menschlichen" Zeitdimensionen, sind sie einmal verbraucht, unersetzbar sind, aus stetig von der Natur durch die Photosynthese regenerierten Stoffen herstellen muss: Holz, Stroh, Pflanzenöle usw. Wie das Beispiel Biodiesel zeigt, ist eine derartige Transformation im Energiebereich realisierbar. Entscheidend wird aber sein, ob es auch gelingt, die zahllosen anderen Produkte der chemischen Industrie - von den Lacken zu den Medikamenten - aus nachwachsenden Rohstoffen herzustellen. Es ist übrigens wahrscheinlich, dass man die klassischen technischen Verfahren zumindest teilweise in diese nachhaltige Chemie integrieren können, genauso wie das Autobahnssystem nicht obsolet wird, wenn einmal kein Benzin mehr zur Verfügung steht.

## **Synthetische Materialien**

Auch wenn die Umstellung auf nachwachsende Rohstoffe als alternativlos erscheint, kann das kein Verzicht auf "synthetische" Materialien bedeuten. Ganz im Gegenteil. Trotz des Vorbilds, das die natürlichen Prozesse in vielen Fällen sein müssen, ist ein Zurück zur Natur nicht möglich und auch nicht wünschenswert. Ein gewisses Maß an Artefaktbildung - und dazu zählen auch synthetisch hergestellte Stoffe - ist zwingend erforderlich, wenn man den Kräften der Natur nicht hilflos und mit allen Folgen ausgeliefert sein will. Entscheidend ist immer das Verhältnis von Kooperation zu Konkurrenz mit und zur Natur, das jeweils, den gesellschaftlichen Rahmenbedingungen entsprechend, neu eingestellt werden muss. Damit 8 Milliarden Menschen in einem Verhältnis zur Natur leben können, das diese nicht zerstört, ist die Verwendung künstlicher, d.h. nicht von der Natur zur

Verfügung gestellter Materialien unverzichtbar. Sei es zur Energieerzeugung, -weiterleitung und -speicherung, sei es zur Bekämpfung stets neu entstehender gesundheitlicher Bedrohungen, um nur zwei Beispiele zu nennen. Fortschritt bedeutet eben auch ein stetes sich Entfernen von "natürlichen", vorgefundenen Bedingungen.

## Konkrete Aufgaben

Zu den konkreten Aufgaben zukünftigen Chemieforschung zählt ganz vorrangig, die direkte Einführung funktioneller Gruppen in organische Moleküle, die zunächst nicht funktionalisiert/substituiert sind. Dieses Forschungsgebiet läuft unter der Bezeichnung "C,H-Aktivierung", was bedeutet, das man in die gesättigten Kohlenwasserstoffe, die man aus dem Erdöl gewinnt (und vielleicht in Zukunft aus Biomasse), direkt wertvolle funktionelle Gruppen einführt, wie zum Beispiel OH-Gruppen, oder Carbonylfunktionen etc. Dieses ist eine formidable Aufgabe, wenn man bedenkt, wie viele Möglichkeiten es gibt, in einem einfachen Alkan aus zum Beispiel 10 C-Atomen gezielt Gruppen wie die OH-Funktion einzuführen.

## Studium und Berufsfelder

Dass die Chemie zu den Zukunftswissenschaften gehört und keineswegs durch die Biologie und andere "Lebenswissenschaften" ersetzt werden kann und wird, steht mit dem bereits Gesagten außer Frage. Gerade junge Menschen, denen die Zukunft der Welt nicht gleichgültig ist, bietet ein Chemiestudium reiche Entfaltungsmöglichkeiten, der Beruf des Chemikers, der Chemikerin viele sinnvolle und intellektuell und gesellschaftlich befriedigende Möglichkeiten. Die Zahl der Erstsemester im Fache Chemie ist in Deutschland nach einer mehrjährigen Verringerung wieder auf rund 6000 pro Jahr gestiegen. Davon waren im Jahre 2005 rund 44 Prozent weiblich und 12 Prozent Ausländer (bei einem Bacheloranteil von 30 Prozent). Die Erfahrung lehrt, dass für ein erfolgreiches Chemiestudium Freude an Problemlösungen, gute Beobachtungsgabe, gute handwerkliche Fähigkeiten, aber auch Sekundärtugenden wie Durchhaltevermögen und Frustrationstoleranz gute Voraussetzungen sind. Wie die anderen Experimentalwissenschaften erfordert die Chemie gleichermaßen Kopf und Hand, sie ist ein intellektuelles und manuelles Unterfangen.

## Wahl des Studienortes

Unterschiede zwischen den verschiedenen Hochschulen gab es auch in der Vergangenheit schon, sie waren aber nicht sehr bedeutsam: wo man sein Studium begann, war ziemlich gleichgültig. Vor dem Hintergrund steigender Konkurrenz zwischen den Hochschulen, die u.a. durch Maßnahmen wie die derzeitige Exzellenzinitiative angetrieben werden, ist es

wenig wahrscheinlich, dass das in Zukunft so bleiben wird. Sich sorgfältig und umfassend über in nähere Auswahl gezogene Studienorte zu informieren wird also in Zukunft die Studienanfänger stärker als bisher beschäftigen müssen. Sich hierbei nicht auf das Getöse einer zunehmend auch im Wissenschaftsbereich von PR-Maßnahmen bestimmten Welt zu verlassen, ist sicherlich ein guter Rat. Der persönliche Besuch an einer Hochschule, ein Praktikum, das Gespräch mit einem Hochschullehrer, der Besuch von Lehrveranstaltungen dürfte bessere Einblicke darüber geben, ob eine bestimmte Hochschule zu einem passt, als das Studieren von Rating- oder Rankinglisten. Auch das Internet bietet inzwischen zahllose Möglichkeiten, rasch an wichtige Chemieinformation heranzukommen. Den Zugang zu den Hochschulen verschafft man sich am bequemsten über die Homepage der Gesellschaft deutscher Chemiker (GDCh.de), über die man über diverse Links rasch alle Chemiefachbereiche in Deutschland "anklicken" kann. Dort erfährt man dann Einzelheiten über die Studienpläne (die sich derzeit vielerorts im Umbruch befinden), die verschiedenen Arbeitsgruppen, Stipendien u.v.a.m. Auch Suchmaschinen wie Google und Wikipedia enthalten inzwischen sehr viel nützliche Information über die verschiedenen Chemiefachbereiche. Wenn Sie Kontakte zu Studierenden aufnehmen wollen, die altersbedingt näher an den Bedürfnissen von Studienanfängern "dran" sind, geschieht das am besten über die E-Mailanschriften der Fachbereiche. Geht man über die GDCh-Homepage, arbeitet man sich über die Jungchemikerforen (JCF), die es an fast allen deutschen Chemiefachbereichen gibt, weiter vor.

## **Studierende der Chemie**

Dass es einen besonderen Menschentypus gibt, der sich besonders gut zum Chemiestudium eignet, ist eher unwahrscheinlich. Aber es gibt bestimmte wichtige Eigenschaften, die man mitbringen sollte, wenn einem dieses alles in allem doch recht lange und aufwändige Studium durchgängig Freude bereiten soll. Dazu würde ich zählen: Freude am Experiment - bei gleichzeitigem Interesse, die beobachteten Naturphänomene auch intellektuell durchdringen zu wollen. Wie die anderen Experimentalwissenschaften fordert die Chemie manuelle und intellektuelle Fähigkeiten, die Einheit von Kopf und Hand. Experimentieren heißt ganz wesentlich und häufig vergeblich experimentieren, heißt das Ertragen langer Durststrecken ohne positive Rückmeldungen ("Erfolge"). Das durchzustehen ist nicht immer einfach - aber einer der Gründe dafür, weshalb auch viele chemiefremde Branchen gerne Chemiker und Chemikerinnen einstellen: diese haben gelernt, Probleme mit wissenschaftlichen Methoden zu lösen, aber eben auch, dass dazu oft ein langer Atem erforderlich ist. Chemie - und gerade die Synthesechemie - ist ein hochgradig kreativer (= schöpferischer) Beruf. Es ist ein schönes Gefühl, wenn man zum ersten mal eine Substanz in Händen hält, die noch nie von irgendeinem anderen Menschen erhalten worden ist. Und das Gefühl ist noch schöner, wenn diese Substanz interessante und wichtige Eigenschaften besitzt - z.B. eine völlig neuartige Struktur besitzt oder biologisch/pharmazeutisch aktiv ist oder sich als Material zum Einsatz in der Informationstechnologie oder bei der Energiespeicherung eignet. Diese - zugegeben seltene - Lohn, gleicht viele Frustrationen wieder aus.

Ein aktuelles Buch, das Erfahrungen um das Chemiestudium und den Beginn der beruflichen Tätigkeit zusammenfasst, stammt von Thomas Laune und Karin Schmitz:

Berufs- und Karriere-Planer Chemie, Teubner Verlag

## Abschlüsse des Chemiestudiums

Ein Vollstudium Chemie kann man in Deutschland zur Zeit an 55 Universitäten und Technischen Universitäten aufnehmen. Dazu kommen mehr als 20 Fachhochschulen mit spezialisierten Ausbildungsgängen. Mit der Unterzeichnung des Bologna-Protokolls durch 40 europäische Länder, das die Schaffung eines gemeinsamen Universitätssystems zum Ziel hat, hat die Umstellung des klassischen deutschen Ausbildungssystems in das Bachelor/Master-System begonnen. Inzwischen ist die Umstellung, die einen Bachelor nach 3 oder 4 Jahren ("1. Cyclus") und einen Master-Grad nach weiteren 1-2 Jahren ("2. Cyclus") vorsieht, an den sich ein dritter Cyclus (3 Jahre) anschließt, der zur Promotion führt, weit fortgeschritten. Der entscheidende Unterschied zu dem bisherigen System besteht darin, dass alle drei Abschlüsse berufsqualifizierend sind. Mit diesem System wird in (Kontinental) Europa etwas begonnen, das sich in den angelsächsischen Ländern seit Jahrzehnten hervorragend bewährt hat. Der Ausstieg nach dem Bachelor kann jungen Menschen, die sich nicht zu einer Karriere als Forscher berufen fühlen, dennoch interessante Berufsperspektiven bieten, sei es im Dienstleistungsbereich bei einfacherer chemischer Tätigkeit, oder auch in Kombination mit einem Zweitstudium (Bachelor Chemie plus Jura, Bachelor Chemie plus Wirtschaftswissenschaften, Bachelor Chemie plus Journalismus etc.). Es ist immer wieder festgestellt worden, dass Deutschland auf dem Wege in die Wissensgesellschaft im tertiären Bereich zu wenig ausbildet - die Bachelorabsolventen könnten diese Lücke schließen.

Der zweite Studienabschnitt schließt mit dem Master, der im großen Ganzen dem klassischen Diplom entspricht. Schon in der Vergangenheit haben wenige Studierende diesen Ausstieg aus dem Studium genutzt und auch wenn in der Masterausbildung die Vermittlung sog. "soft skills" (PC-Ausbildung, Präsentations- und Vortragstechnik etc.) eine größere Rolle spielt als in der Vergangenheit, ist es wahrscheinlich, dass die Masterabsolventen mehrheitlich die Promotion anstreben werden.

## Nach dem Studium

Nach der Promotion bieten sich den Absolventen vielfältige Möglichkeiten. Rund 30 Prozent aller Frischpromovierten streben eine Tätigkeit in der Forschung an, sei es in der Industrie oder in der Hochschule oder einem Forschungsinstitut. Aber auch in anderen Branchen - Informatikindustrie, Bank- und Versicherungswesen, Verbände und Ministerien u.a.m. - sind promovierte Chemiker gern gesehene Hochschulabsolventen. Geht man in die Forschung, ist heute ein Postdoktorandenaufenthalt im Ausland unverzichtbar, meistens in den USA, aber inzwischen auch in vielen Ländern Europas, in Japan oder anderswo. Kehrt man dann nach Hause zurück, hat man nicht nur eine andere Forschungs- und Lebenswelt kennen gelernt, sondern meistens auch noch eine Sprache - ein großer Vorteil für eine etwaige Tätigkeit in einer global agierenden deutschen Chemiefirma.