

Der Januskopf der Chemie: Eine Herausforderung für den Chemiker*

Alfred Pletscher

Departement Forschung, Kantonsspital, Hebelstr. 20, 4031 Basel

Abstract

Chemistry has made many essential contributions to human society, for instance in the fields of health, nutrition, cosmetics, dyes, energy, safety and the protection of the environment. However, this progress has also had negative consequences. Examples of this include side effects of drugs, drug abuse and addiction, toxic residues in food, environmental pollution and occupational toxins. The profession of chemistry, due to its spectacular progress, has reached a crisis of identity. Fundamental and practical breakthroughs are now less frequent and other disciplines have taken over the traditional functions of chemistry. The status of chemists in the pharmaceutical and chemical industry has undergone a change. However, the knowledge of the structure of a molecule and its transformations, specific attributes of chemistry, cannot be dispensed with. Further creative achievements of a fundamental and practical nature are to be expected. There is a shift towards the interdisciplinary level where the chemist has a responsibility for promoting «molecular thinking». The ambivalence of chemistry is a challenge to the chemist. However, conditions are favourable for him to cope successfully with the problems of his discipline with regard to society and professional identity.

1. Prolog

Die Forschung besitzt ein doppeltes Gesicht: Die aus ihr hervorgehenden Erkenntnisse sind zwar wertmässig neutral, d. h. weder gut noch böse, ihre Anwendung hingegen kann sowohl zu positiven wie zu negativen Folgen für die Menschheit führen. Diese Ambivalenz manifestierte sich bereits, nachdem Prometheus den Menschen das Feuer

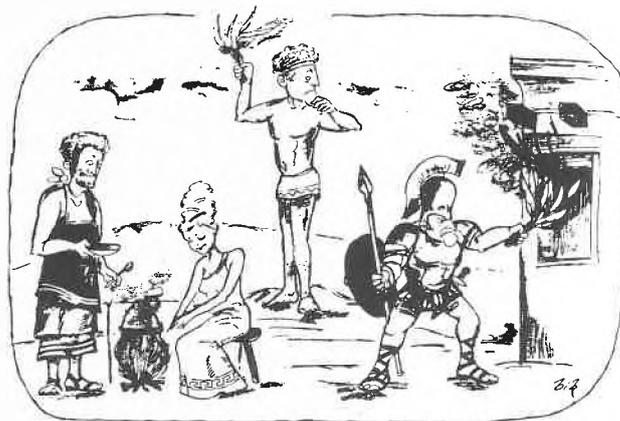


Abb. 1

* Vortrag, gehalten am Jubiläumssymposium 75 Jahre Basler Chemische Gesellschaft vom 17. Juni 1982.

gebracht hatte (Abb. 1), und ist im Zuge der gewaltigen Entwicklung der Forschung nach dem zweiten Weltkrieg besonders augenfällig geworden. Verstärkt wurde sie durch Betonung, ja durch eigentliches Hochspielen der negativen Aspekte der Forschung. Die Chemie steht im Zentrum solcher Diskussionen und Angriffe, wodurch sich ihr Image in den letzten Jahren wesentlich verschlechtert hat.

Das doppelte Gesicht der Chemie ist aber auch durch Wandlungen in ihr selbst bedingt. Dabei spielen die grossen Fortschritte der Chemie eine Rolle, welche durch Mitwirken von Nachbardiisziplinen zustande gekommen sind. Sie haben die Chemie an den Rand einer Identitätskrise gebracht.

Die folgenden Ausführungen befassen sich mit dem doppelten Gesicht der modernen Chemie, welches diese in den Augen der heutigen Gesellschaft, aber auch vieler in diesem Fach Tätigen besitzt. Es soll dann versucht werden aufzuzeigen, dass sich gerade daraus eine Herausforderung für den Chemiker ergibt.

2. Chemie und Gesellschaft

2.1. Das positive Gesicht

Es kann wohl niemand, der die Werthaltung unseres Kulturkreises anerkennt, bona fide bezweifeln, dass die Chemie wesentliche positive Beiträge für unsere Gesellschaft geleistet hat. Dies sei an einigen Beispielen dargelegt.

Im Bereich der *Gesundheit* haben chemische Produkte, d. h. Medikamente, gewisse Krankheitsgruppen und Strukturen im Gesundheitswesen günstig beeinflusst, obwohl ihr Einfluss auf die allgemeine Sterblichkeit umstritten ist [1]. So bewirkte die Einführung der anti-

bakteriellen Chemotherapeutika inklusive Antibiotika eine Abnahme von Sterblichkeit und Krankheitshäufigkeit (Morbidität) von Infektionskrankheiten (z. B. Tuberkulose, Pneumonie, Syphilis) in verschiedenen Altersgruppen, obwohl gewisse Krankheiten schon vor der Einführung dieser Medikamente aus anderen Gründen (Verbesserung der hygienischen und der Ernährungsverhältnisse, Erhöhung des Lebensstandards usw.) in stetem Rückgang begriffen waren. Abb. 2 zeigt dies am Beispiel der Sterblichkeit der Tuberkulose für die männliche Bevölkerung von England und Wales. Die Verhältnisse für die weibliche Bevölkerung sind ähnlich [2, 3, 4]. Nach neueren Untersuchungen aus USA und der Schweiz hat auch die Mortalität an cerebrovaskulären Affektionen und möglicherweise an Herzinfarkt abgenommen. Die wirksame Behandlung des hohen Blutdrucks scheint an diesem Rückgang massgeblich beteiligt zu sein, wobei Medikamente einen wesentlichen Beitrag leisteten [5, 6, 7]. Unter den Arzneimitteln mit grossen sozialen Auswirkungen sind ferner die modernen Neuro-Psychopharmaka zu nennen. Sie haben das Antlitz unserer psychiatrischen Institutionen und die Behandlung der psychisch Kranken radikal verändert. Die durch moderne Medikamente (Neuroleptika, Antidepressiva, Tranquillizer) ermöglichte ambulante Betreuung vermag oft auch schwer psychisch Kranken die Selbstkontrolle über krankheitsbedingte Verhaltensstörungen soweit zurückzugeben, dass eine Internierung nicht mehr nötig ist und sie in Familie und Beruf zurückkehren können [1, 8] (Abb. 3). Schlussendlich hatten auch die modernen Kontrazeptiva einen Einfluss auf die Gesellschaft. So schreibt M. F. Perutz: «Women's liberation could not have succeeded, if science had not provided them with contraception and household technology» [9].

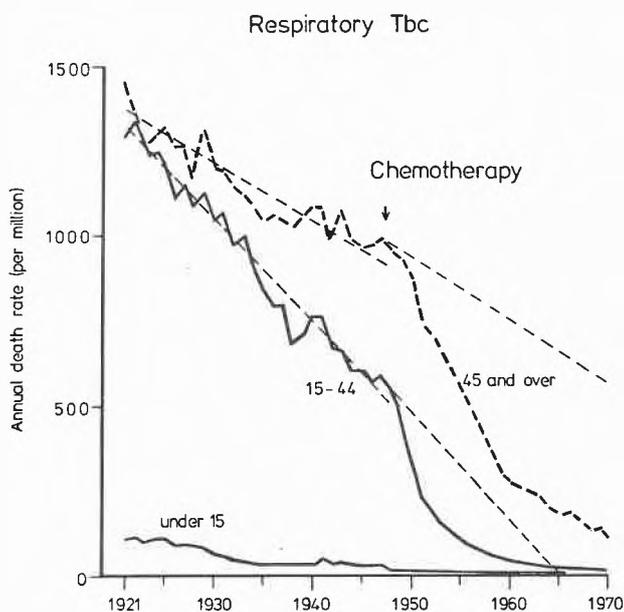


Abb. 2: Mc Keown. The role of medicine, dream, mirage or nemesis?

Ersteintritte in psychiatrische Kliniken der Schweiz

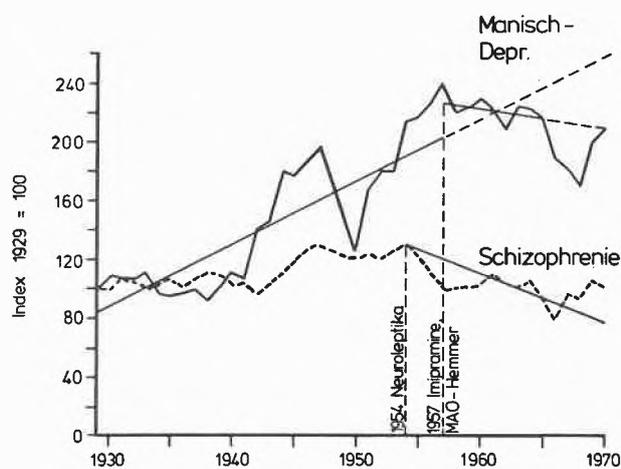


Abb. 3: Brand M. et al. Vom Elektroschock zum Antidepressivum

Nebenbei sei bemerkt, dass in bezug auf die erwähnten und andere Gebiete Durchbrüche und wichtige Beiträge aus der «Basler Chemie» stammen. Diese hatten auch Auswirkungen für die Entwicklungsländer. Erwähnt sei nur das brennende Problem der als Folge von Vitamin A-Mangel auftretenden Blindheit und die Möglichkeit ihrer Bekämpfung durch synthetisches Vitamin A.

Auch im Sektor *Ernährung* hat die Chemie einen wesentlichen Beitrag geleistet. Man denke z. B. an die industrielle Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln oder an synthetischen, stickstoffhaltigen Dünger, der eine verbesserte Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln erlaubt. Die natürliche Düngung allein könnte diese – in Europa zum Beispiel – nicht mehr sicherstellen [10]. Ferner schützt die chemische Schädlingsbekämpfung die Nutzpflanzen vor Schadinsekten und Pflanzenkrankheiten, die Nutztiere vor Parasiten und hilft bei der Bekämpfung der Ratten, durch die jährlich weltweit ca. 40 Mio. Tonnen Nahrungsmittel für 150 Mio. Menschen verloren gehen [11]. Nicht minder ist der Beitrag der Chemie zur Unkrautvertilgung, deren Einsatz eine erhebliche Verbesserung in der Bewirtschaftung des Bodens brachte. Durch Futter- und Nahrungsmittelzusätze, die dank der synthetischen Chemie in grossen Mengen zugänglich sind, – man denke etwa an Vitamine und gewisse Aminosäuren – wurde auch die Intensivierung der Fleischproduktion ermöglicht, und durch Konservierungsmittel konnten grosse Mengen von Nahrungsmitteln vor dem Verderben bewahrt werden. Auch diese Fortschritte kamen u. a. den Entwicklungsländern zugute. So ist z. B. in Indien, wo es seit dem Krieg zu einem 70%igen Anstieg der Bevölkerung kam, die Menge Nahrungsgetreide, welche pro Kopf produziert wird und zur Verfügung steht, von 134 kg (1950–1951) auf 180 kg (1975–1976) gestiegen [12]. Zahlreiche weitere Beispiele ähnlicher Art liessen sich anführen, wobei allerdings die Produkte der Chemie zwar massgebend, aber nicht allein am Fortschritt beteiligt waren.

Die Chemie leistete nun aber nicht nur wesentliche Beiträge auf Gebieten, welche für Gesundheit und Überleben von Bedeutung sind. Sie ist auch dem Bedürfnis der Menschen nach *Verschönerung* und *Luxus* nachgekommen. Erwähnt seien die mannigfaltigen synthetischen Textil-, Lebensmittel- und anderen Farbstoffe, die qualitativ sehr guten synthetischen Riechstoffe, die künstlichen Aromen usw. Zugegeben, solche Produkte sind kaum lebensnotwendig. Ihnen deshalb eine Daseinsberechtigung abzuspochen, schiene mir aber übertrieben. Ist das Streben der menschlichen Gesellschaft nach Verschönerung und Luxus nicht eine Jahrtausende alte Realität, die man mit den schönsten Ideologien nicht aus der Welt schaffen kann und – sofern gewisse Grenzen nicht überschritten werden – auch nicht soll?

Die Liste der Beiträge der Chemie für die menschliche Gesellschaft ist damit bei weitem nicht erschöpft. So kommt ihr eine wichtige Funktion bei der *Erschliessung und Herstellung von Energieträgern* (z. B. aus Erdöl) zu.

Sie leistet auch ihren Beitrag zur *Energieeinsparung*, indem sie z. B. energiefreundliche Materialien (Isolationsmaterial usw.) produziert und energiesparende Herstellungsverfahren ermöglicht. Im weiteren dient die Chemie der *Sicherheit*: man denke an Feuerlöschmittel, Brand- und Unfallschutz durch Spezialkunststoffe, Sicherheitsfarben, Bremsflüssigkeiten usw. Ja selbst im *Umweltschutz* kommen der Chemie Funktionen zu, z. B. bei der Abwasserreinigung sowie der Beseitigung und dem Recycling von Abfällen. Dazu gehört auch die Schonung unserer natürlichen Reserven durch Bereitstellung von synthetischen Ersatzstoffen (Polymeren usw.).

2.2. Das negative Gesicht

Da Fortschritt Risiko bedeutet, blieben auch auf dem Gebiet der Chemie negative Folgen nicht aus.

Auf dem Sektor *Gesundheit* haben die unerwünschten Nebenwirkungen der Arzneimittel ernste Probleme gebracht. Das Auftreten von Nebenwirkungen ist allerdings nicht neu, sie waren schon immer eine Begleiterscheinung wirksamer medikamentöser Therapie. Hingegen kommt dem Problem heute ein erhöhter Stellenwert zu. Verschiedene neuere Arbeiten zeigen, dass Komplikationen durch Arzneimittel-Nebenwirkungen sowie Spitaleinweisungen wegen solcher Komplikationen zugenommen haben. Meist handelt es sich allerdings um reversible Schädigungen, jedoch gibt es auch Fälle mit tödlichem Ausgang [13, 14, 15, 16]. Tabelle 1 zeigt als Beispiel eine Untersuchung über iatrogene (durch ärztl-

Tabelle 1: Hospital interventions leading to iatrogenic complications

Type of intervention	Complications	
	No.	% Major
Drugs	208	19
Nitrates	26	15
Digoxin	15	33
Lidocaine	15	13
Aminophylline	15	7
Quinidine / Disopyramide / Procainamide	13	15
Heparin / Warfarin	13	54
Penicillins	10	10
Benzodiazepines	10	0
Antihypertensives	10	30
Propranolol	9	44
Other and Multiple	72	15
Diagnostic and therapeutic procedures	175	28
Cardiac Catheterization	45	–
Intravenous Therapy	34	–
Urinary-Tract Catheterization	10	–
Other	86	–
Miscellaneous	114	21
Falls	35	–
Other	79	–
Total complications	497	22

Steel K. et al: NEJM 304. 639 (1981).

che Behandlung und Hospitalisation verursachte) Nebenwirkungen in einem nicht selektionierten Kollektiv von 815 Patienten des Boston University Medical Centers. Es ist ersichtlich, dass dabei Medikamente in wesentlichem Masse beteiligt waren.

Auch andere, die Gesundheit beeinträchtigende Einwirkungen gehen zum Teil auf das Konto der Chemie. Erwähnt seien Schädigungen akuter und chronischer Natur durch mannigfaltige, in Beruf und Alltag vorkommende chemische Substanzen (Allergene, Reizstoffe usw.).

Ein weiteres Problem, welches die Öffentlichkeit heute stark beschäftigt, ist die Zunahme des Missbrauchs von Medikamenten, inklusive der Medikamentensucht. Die Probleme hängen zwar teilweise mit der Verfügbarkeit zahlreicher moderner Medikamente (z. B. Analgetika, Analgetika-Kombinationen, Psychopharmaka) zusammen. Daneben gibt es aber andere Gründe. So besteht ja heute auch ein vermehrtes Abusus- und Suchtproblem bezüglich schon lange erhältlicher Drogen und Medikamente, z. B. Haschisch, Opium, Cocain, Morphin, Heroin. Den gegenwärtigen Abusus- und Suchtproblemen liegen vielmehr vor allem psychosoziale Ursachen zugrunde, auf die hier nicht eingegangen werden kann.

Schlussendlich ist eine andere unerwünschte Folge moderner Arzneimittel die Resistenzentwicklung von Bakterien (Hospitalismus) und Parasiten (Malaria-Resistenz) gegen Chemotherapeutika, inkl. Antibiotika. Die Diskussion der sich daraus ergebenden Probleme würde aber den Rahmen dieses Referates übersteigen.

Auch die Verbesserung der *Ernährungslage*, zu welcher die Chemie einen wesentlichen Beitrag geleistet hat, ging mit negativen Folgen einher. So werden z. B. den Böden durch die intensive Bebauung, welche zu einer sich wirtschaftlich lohnenden Weizenernte von 44 Doppelzentnern pro Hektare (mitteleuropäischer Durchschnitt) führt, 100 kg/ha Stickstoff entzogen [17]. Sofern nicht ein adäquater Ersatz dieses Verlustes durch künstliche Düngemittel erfolgt, kommt es zu einer Auslaugung des Bodens. Ein weiteres, besonders bedeutungsvolles Problem ist dasjenige der Rückstände in den Nahrungsmitteln, bedingt durch Verwendung von Futterzusätzen (Antibiotika, Hormone), Insektiziden (DDT), Herbiziden und Fungiziden. Wer erinnert sich nicht mehr an die Unruhe in der Öffentlichkeit, als Östrogene im Kalbfleisch und eine Anreicherung von DDT im menschlichen Fettgewebe sowie in der Milch nachgewiesen wurden? Grosse öffentliche Besorgnis ist auch wegen der Verwendung gewisser Zusatz- und Ersatzstoffe (wie Cyclamat und Saccharin) für Nahrungsmittel entstanden. Eine potentielle Gefährdung der Gesundheit durch chronische Einwirkungen von Schädlingsbekämpfungsmitteln sowie Futter- und Nahrungsmittelzusätzen darf nicht verneint werden. Allerdings fehlen oft stichhaltige Anhaltspunkte, dass deren Verwendung unter den bei uns herrschenden Voraussetzungen zu Langzeitschäden – etwa zu einer Förderung der Krebsentstehung – führt. Es ist zu bedenken, dass schädliche Folgen nicht nur von der

Art der potentiellen Schadstoffe, sondern auch von ihrer Konzentration abhängen. Mit den heutigen, hochentwickelten analytischen Methoden gelingt es, solche Stoffe bereits in Spuren nachzuweisen, also in weit geringeren Konzentrationen als denjenigen, welche bei chronischer Einwirkung Schädigungen erzeugen können. Unkritische Veröffentlichungen über derartige Untersuchungen tragen viel zur allgemeinen Verunsicherung der Bevölkerung bei und schaden letztlich auch dem Image der Chemie.

Auf dem Gebiet der *Ökologie* ist die Chemie noch anderen heftigen Kritiken ausgesetzt. Man denke etwa an die durch Emissionen der Chemiebetriebe direkt verursachten Gewässer-, Luft- und Landverunreinigungen. Auch indirekt ist die Chemie an atmosphärischen Verunreinigungen beteiligt. Bekanntlich besteht z. B. die Gefahr einer Schädigung der Ozonschicht durch Treibgase aus Haushaltsprays. Des Weiteren kann es durch chemische Produkte zu Störung natürlicher Gleichgewichte kommen. So werden durch die mangelnde Spezifität der Insektizide zusätzlich andere als die zu bekämpfenden Lebewesen geschädigt, wodurch einige Tierarten (z. B. gewisse Raubvögel) vom Aussterben bedroht sind.

Die negativen Folgen des Fortschritts sind ernst zu nehmen, Bagatellisierung ist nicht angebracht. Hingegen müssen sie durch Abwägung der negativen gegenüber den positiven Auswirkungen (sozio-ökonomischer Art und in bezug auf Lebensqualität) in richtigen Proportionen gesehen werden. Dass die Kosten-Nutzen-Bilanz durchaus positiv sein kann, zeigen z. B. Untersuchungen auf dem Arzneimittelgebiet [18, 19, 20]. Es gilt, die Probleme des Fortschrittes in sachlicher und kompetenter Weise zu bewältigen, statt durch einseitige und emotionale Darstellung Panik zu erzeugen. Dazu gehört auch, dass die Gesellschaft sich ihrer ambivalenten Einstellung der Forschung gegenüber bewusst wird (Tabelle 2) und zu einer konsequenteren Haltung gelangt.

Tabelle 2: Die Ambivalenz der Gesellschaft

Verlangt wird	Protestiert wird gegen
– Gesundheit, Schmerzfreiheit	– Medikamente, Tierversuche
– Lebensmittel: Quantität, Qualität, Diversität	– Dünger, Schädlingsbekämpfung, Konservierungsmittel
– Luxus und Bequemlichkeit (Bekleidung, Kosmetik, Heizung, Auto usw.)	– Luft- und Gewässerverschmutzung, Lärm usw.
– Ersatzstoffe zur Schonung der natürlichen Reserven	– Umweltbelastung

3. Chemie als Beruf

Die kritische Haltung der Gesellschaft gegenüber der Chemie hat auch das Berufsbild des Chemikers negativ

beeinflusst. Ausserdem hat die Disziplin Chemie selbst Wandlungen durchgemacht, die den Beruf des Chemikers massgeblich veränderten. Diese Entwicklung ist ebenfalls durch eine gewisse Ambivalenz charakterisiert; sie soll im folgenden kurz beleuchtet werden.

3.1 Probleme

Die Chemie hat durch ihren eigenen Fortschritt Probleme geschaffen, mit denen der Chemiker sich heute konfrontiert sieht. Ist die Chemie noch eine Disziplin der *Grundlagenforschung*? Zweifel drängen sich in der Tat auf. So scheint vieles, was früher zur hohen Kunst des Chemikers gehörte, – etwas überspitzt ausgedrückt – zur Technologie geworden zu sein. Man denke z. B. an die Konstitutionsaufklärung und ihre Wandlung dank der Fortschritte der Physik. Auch die Synthese, die Analytik, die Reaktionskinetik usw. haben eine ähnliche spektakuläre Entwicklung durchgemacht. Der Chemiker «beherrscht» die Moleküle. Heute ist für ihn sehr vieles aufklärbar und einsehbar und bis zu einer gewissen Molekülgrösse praktisch alles auch machbar. Ferner können gewisse Moleküleigenschaften vorausberechnet werden, z. B. durch die Quantenchemie. Die Wahrscheinlichkeit grosser, für die Erkenntnis relevanter Durchbrüche scheint zumindest stark abgenommen zu haben.

Auf dem Gebiet der *angewandten Forschung* ist die Situation ähnlich. Durch die Erfolge der Arzneimittelforschung stehen auf vielen und grossen Gebieten der Medizin hochwirksame Medikamente zur Verfügung – man denke an die Antibiotika und kardiovaskulären Wirkstoffe – deren Qualität nur noch sehr schwer zu verbessern ist. Geblieben sind vorwiegend die Probleme der chronischen Krankheiten wie Krebs, Arteriosklerose, Rheumatismus, Psychosen, degenerative Affektionen usw., deren kausale Behandlung für die Medizinalchemie sehr schwierige, z. T. fast unüberwindbare Probleme stellt. Entsprechend ist die Erfolgsquote der zu therapeutischen Zwecken hergestellten Verbindungen zurückgegangen, und man muss sich fragen, ob auf den bisherigen Wegen noch wesentliche Fortschritte erzielt werden können. Die Situation auf den Gebieten der Agrochemie, Farbstoffe und Kunststoffe ist ähnlich, da auch hier bereits eine Unzahl ausgezeichneter Produkte zur Verfügung steht. Ausserdem sind die behördlichen Anforderungen und Kontrollen immer strenger geworden, was sich besonders für die Forschung und Entwicklung von Medikamenten, Agrochemikalien und Lebensmittelzusätzen erschwerend auswirkt.

Durch diese Entwicklungen scheint die Chemie etwas von ihrem früheren Glanz verloren zu haben, ja es scheint sogar ihre Identität bedroht zu sein. Gehörte früher die Chemie, neben der Physik, zum exklusivsten Adel der Naturwissenschaften, sind ihr in moderner Zeit starke Konkurrenten erwachsen. Dazu gehören vor allem die Biochemie, Molekularbiologie, Zellbiologie, inkl. Immunologie. Diese Disziplinen, welche eine faszinierende Entwicklung durchmachen und durchgemacht haben,

übernehmen immer mehr Funktionen, welche früher eigentliche Aufgaben der Chemie waren. Man denke nur an den Einsatz der Gentechnologie in der Verfahrensentwicklung und in der Produktion hochmolekularer Arzneimittel. Eröffnen sich dadurch für die therapeutische und diagnostische Medizin neue Horizonte, welche der klassischen Medizinalchemie verschlossen blieben? Bahnen sich auch Durchbrüche auf dem Gebiet der Agrobiologie und der Lebensmittelproduktion an? Diese und andere Fragen und Hoffnungen stehen allerdings noch im Raum. Immerhin könnte der Eindruck entstehen, die Chemie befinde sich in einem Desintegrationsprozess, indem gewisse ihrer ureigensten Funktionen an andere Disziplinen übergehen.

Schlussendlich hat sich auch die *Stellung des Chemikers* innerhalb der forschenden chemischen Industrie geändert. Einerseits sind ihm, wie schon erwähnt, starke Konkurrenten aus Nachbardisziplinen erwachsen, was mit der zunehmenden Interdisziplinarität der Forschung zusammenhängt. Andererseits verstärkte sich der Einfluss von nicht aus Naturwissenschaft und Medizin stammenden Kollegen, welche administrative und planerische Funktionen ausüben. Die angespanntere finanziell-ökonomische Situation der Firmen und die seltener gewordenen kommerziell erfolgreichen Durchbrüche riefen nach stärkerer Marktbezogenheit, strafferem Management und vermehrter Planung der Forschung. Bei aller Berechtigung solcher Anstrengungen darf allerdings nicht vergessen werden, dass originelle Arbeit eines kreativen Freiraums und einer motivierenden Atmosphäre bedarf und dass sich allzu straffe Planungsmassnahmen kontraproduktiv auswirken können.

3.2 Positive Aspekte

Es sei vorweggenommen; der Beruf des Chemikers besitzt nach wie vor auch ein positives Gesicht. Gewisse, früher ausgeprägte Züge gingen zwar verloren oder schwächten sich ab, andere jedoch blieben erhalten, verstärkten sich oder traten neu in Erscheinung. Wenige, z. T. recht einfache Tatbestände seien hier in Erinnerung gerufen.

3.2.1. Identität der Chemie

Nach wie vor ist der Chemiker der Spezialist der Moleküle. Er kennt ihren Bau, ihre Reaktivität und Interaktionen wie kein zweiter. Hier ist ihm kaum eine ernsthafte Konkurrenz erwachsen. Zwar beschäftigen sich auch der Chemie benachbarte Disziplinen (z. B. die Biochemie) mit Molekülen. Im Vordergrund steht dabei besonders das Interesse an ihrer Wirkung und Wirkungsweise und nicht so sehr an ihrer exakten Struktur, Conformation und ihren intra- und intermolekularen Interaktionen. Hier erwächst dem Chemiker eine Aufgabe als Partner anderer Disziplinen.

Die Chemie besitzt auch eine dominierende Stellung als Quelle von «hard ware», d. h. von chemischen Reinstoffen. Diese dienen nicht nur unmittelbar praktischen Zwecken, z. B. der Entwicklung von Medikamenten,

Schädlingsbekämpfungsmitteln, Kunst- und Farbstoffen, sondern haben auch grosse Bedeutung als Werkzeuge für die Forschung, denen grosse Fortschritte zu verdanken sind. So sind und waren z. B. synthetische Enzymhemmer wichtig zur Aufklärung von Wirkungsmechanismen von Enzymen, und chemische Modells-substanzen ermöglichten die Identifikation von biologischen Rezeptoren und endogenen Liganden (z. B. der Opiatrezeptoren, Enkephaline und Endorphine). Ferner leistet der Einsatz von chemischen Substanzen in Form von Reagentien und Medikamenten in der Diagnostik und der Klassifizierung von Krankheiten unentbehrliche Dienste.

Ein weiteres Feld, in welchem der Chemiker einen wesentlichen Beitrag leistet, ist die Analytik. Sie ermöglicht das Auffinden und die Identifikation kleinster Mengen von Schadstoffen und gewinnt heute besonders auch im Hinblick auf die Ökologie zunehmende Bedeutung.

3.2.2. Kreativität des Chemikers

Der Chemiker unterscheidet sich von vielen anderen Naturwissenschaftlern dadurch, dass er Neuschöpfungen (z. B. Arzneimittel, Azofarbstoffe, Kunststoffe) hervorbringt, welche die Natur noch nie «gesehen» hat. Seine Tätigkeit besitzt Analogie zu derjenigen eines Künstlers. Kreativität ist immer noch eine inhaerente Eigenschaft der Chemie. Bemerkungen, wie «die Chemie sei zur blossen Technologie und Routine geworden», bedürfen der Relativierung. Es stimmt nicht, dass alles für alle machbar ist. Für Spitzenleistungen, sei es auf dem Gebiet der synthetischen Chemie, der Verfahrensentwicklung, der Aufklärung von Reaktionsmechanismen usw., braucht es nach wie vor begabte, kreative Chemiker. Eine Total-Synthese von Vit. B₁₂ gelingt nicht jedem, die Entwicklung eines neuen, umweltfreundlichen, ökonomischen Verfahrens kann höchste Anforderungen bezüglich Phantasie und innovativem Talent stellen. Auch als echter Partner anderer Disziplinen wird sich der Chemiker dank seiner Kreativität behaupten. Die Zeiten liegen noch in weiter Ferne, in denen die Kenntnisse der biologischen Strukturen, z. B. von Rezeptoren, Transportmolekülen, Ionenkanälen so weit fortgeschritten sein werden, dass dem Chemiker die Rolle eines blossen Kopisten der Natur zukommen wird. Im Gegenteil, für die weitere Aufklärung der biologischen Strukturen, ihrer aktiven Zentren und Interaktionen sind originelle Beiträge aus der Chemie essentiell.

3.2.3. Chemiker und Grundlagenforschung

Ist es dem Chemiker heute noch möglich, wesentliche, neue, grundlegende Erkenntnisse zu schaffen? Sind die Zeiten der grossen Entdeckungen – z. B. der Vision der Struktur des Benzolrings durch Kékulé, der Le Bel-van t'Hoff'schen Regel der Stereochemie, der Elektronenpaarbindung nach Lewis, der Barton-Hassel'schen Conformationsanalyse, der Woodward-Hoffmann'schen

Regel der Erhaltung der Orbitalsymmetrie – vorbei? Tatsächlich scheinen Durchbrüche solcher Art seltener zu werden. Dies hängt mit dem hohen Entwicklungsgrad, den die Chemie in den letzten Jahrzehnten erreicht hat, zusammen, aber auch damit, dass solche Durchbrüche an sich selten sind. Trotzdem wäre es vermessen zu behaupten, die Grundlagen-Chemie sei «ausgetrocknet». Die faszinierende Frage des Zusammenhangs zwischen Struktur und biologischen oder physikalischen Eigenschaften der Moleküle ist z. B. noch weitgehend ungeklärt. Für die Charakterisierung der Konfiguration und Konformation aktiver Zentren von Eiweissen (Enzymen, Rezeptoren, Transportproteinen), der intra- und intermolekularen Interaktionen von Makromolekülen usw. kann die Chemie wesentliche Beiträge leisten. In dieses Gebiet gehört auch die chemische Synthese von «massgeschneiderten» Modellenzymen zur Katalyse spezifischer Reaktionen. Ferner offenbart die Natur immer wieder Phänomene, deren Erforschung neue Erkenntnisse für die Chemie verspricht. Als Beispiel aus neuerer Zeit seien die anscheinend abwegigen Stoffwechselfvorgänge der Methanbakterien (Archebakterien) erwähnt. Allerdings wird die Chemie auf solchen Gebieten grundlegende Durchbrüche kaum im Alleingang vollbringen können, sondern nur in Zusammenarbeit mit Nachbardisziplinen, wie der Biochemie, Genetik, Physik, Mathematik usw. Aber auch aus der Chemie selbst entwickeln sich immer wieder neue Forschungsrichtungen. Sie betreffen z. B. die metallorganischen Verbindungen, die stereoselektiven Synthesen und die Zusammenhänge zwischen Struktur und chemischer Reaktivität von Molekülen, inklusive Makromolekülen. In all diesen Gebieten liegt ein erhebliches Potential für neue Erkenntnisse.

3.2.4 Chemiker und Praxis

Sind von der Chemie noch wesentliche, für die Praxis bedeutsame Durchbrüche zu erwarten, oder werden neue Technologien, z. B. die Biotechnologie mehr und mehr an die Stelle der Chemie treten? Sicherlich liegen im Bereich der Biotechnologie interessante Durchbrüche in der Luft, und diese Spitzentechnologie verdient in unserem von Innovation abhängigen Lande kräftige Förderung. Darob die Chemie zu vernachlässigen, wäre aber töricht. So sind z. B. die heute therapeutisch verwendeten Wirkstoffe in überwiegender Zahl relativ einfache, kleine Moleküle (Tabelle 3). Erst die Zukunft dürfte zeigen, ob die Produktion hochmolekularer Stoffe, eine Domäne der Biotechnologie, für die therapeutische Medizin neue Horizonte eröffnen wird. Auch ist das Potential der kleinmolekularen, für die synthetische Chemie relativ leicht zugänglichen Verbindungen nicht ausgeschöpft. Man denke z. B. an die H₂- und β -Blocker, die «Calciumantagonisten», die Fortschritte auf dem Gebiet der Immunosuppressiva usw., alles Entwicklungen aus neuerer Zeit. Ferner wird die Chemie auch in der Zukunft, wie bisher, für die Entwicklung der Biotechnologie unerlässlich sein.

Tabelle 3: Leading prescription drugs / USA 1981

1. Tagamet	11. Ortho Novum
2. Inderal	12. Indocin
3. Valium	13. Diabinese
4. Motrin	14. Persantine
5. Dyazide	15. Slow-K
6. Keflex	16. Lopressor
7. Clinoril	17. Tylenol / Cod
8. Aldomet	18. Lo / Ovrall
9. Naprosyn	19. Darvocet-N
10. Lasix	20. Hygroton

Scrip 1982

Zudem sind weitere Fortschritte der Chemie ausserhalb der Biologie zu erwarten, wobei die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Physikern und Ingenieuren eine Rolle spielt. Man denke an die Energieforschung, z. B. an das Gebiet der Energiespeicherung (Ersatz der Bleiakkumulatoren) und an die Gewinnung von Alternativ-Energieträgern (z. B. von Wasserstoff durch Photolyse des Wassers). Ferner dürften sich auch in der Materialforschung weitere Fortschritte ergeben, vor allem auf Gebieten wie der Halbleiter- und Polymerenchemie. «Die Menschheit kann auf die stoffumwandelnden Leistungen der Chemie nicht verzichten» (F. E. M. Seefelder).

4. Die Herausforderung für den Chemiker

4.1 Das ethische Spannungsfeld

Unsere ganze Erde, ja wir selbst, sind von Chemie durchdrungen. Also wird sie auch essentiell für die Lösung der anstehenden Probleme unserer Gesellschaft sein. Der Chemiker ist deshalb nach wie vor mit grossen und stimulierenden Aufgaben nicht nur im Bereich der Beschaffung neuen Grundlagenwissens, sondern auch der praxisorientierten Forschung, konfrontiert. Hingegen befindet er sich – wie jeder Forscher – in einem *ethischen Spannungsfeld*, in welchem er sich zurechtfinden muss. Einerseits hat der Forscher die Verpflichtung, Wissen und Erkenntnis zu schaffen, und es widerspräche den ethischen Grundsätzen, wenn er die Früchte seiner Arbeit seinen Mitmenschen nicht mitteilen würde. Andererseits schafft Wissen Macht, und jeder, nicht nur der Forscher allein, der in ihren Besitz gelangt, kann damit Missbrauch treiben. Verhütung dieses Missbrauchs durch andere kann nicht nur Aufgabe des Forschers sein. Massnahmen gesetzgeberischer, erzieherischer, politischer und sozialer Art sind hier angebracht. Auch kann der Forscher, besonders der grundlagenorientierte, die letzten Konsequenzen seines Tuns nicht voraussehen, da Forschung ja Neuland betreten soll und ihre Resultate sowie deren etwaige Konsequenzen deshalb nicht von Anfang an bekannt sind. Hingegen kann der Forscher, der sich der Ambivalenz seines Tuns bewusst ist, mithelfen, den potentiell negativen Auswirkungen vorzubeugen. Dies betrifft in hohem Masse den Chemiker. Er, dem eine besondere Verantwortung z. B. für die Umwelt

zukommt, wird sich bemühen, umweltfreundliche, aber doch wirtschaftlich tragbare Synthesen und Verfahren zu entwickeln. Dabei wird er auch grosses Gewicht auf Sicherheit von Methoden und Prozessen legen. Im weiteren besitzen Forderungen nach ökonomischer Verwendung der Energie auch für den Chemiker hohen Stellenwert. In bezug auf direkte Gefährdung der Gesundheit von Mensch und Tier sind besonders Medizinal-, Lebensmittel-, Agro- und Kunststoffchemiker angesprochen. Es ist zwar nicht möglich, potentielle, gesundheits-schädigende Einflüsse neuer chemischer Produkte bis ins letzte vorauszu sehen. Dazu sind unsere Kenntnisse, besonders in bezug auf die Beziehungen zwischen chemischer Konstitution und biologischer Wirkung, noch zu lückenhaft. Hingegen besitzt der Chemiker – wie auch der Biologe – zahlreiche Erfahrungen, deren gewissenhafte Berücksichtigung dazu beitragen kann, voraussehbare Schädigungen zu meiden, besonders wenn solche Erfahrungen im Rahmen von interdisziplinären Teams ausgetauscht werden.

4.2 Neuorientierung statt Resignation

Es gilt auch, sich an die Wandlung von Beruf und Berufsbild des Chemikers anzupassen. Vieles ist nicht mehr so, wie es war. Die neue Situation darf aber nicht zu Resignation führen, sondern muss im Gegenteil Stimulus für eine aktive Neuorientierung unter Beibehaltung des bisher Bewährten sein. Das angestammte Gebiet des Chemikers, die Kenntnis der Moleküle und deren Interaktionen, bedarf nach wie vor sorgfältigster Pflege durch solide theoretische und praktische Aus- und Weiterbildung. Dazu muss aber auch die Öffnung der Chemie in Richtung anderer Disziplinen kräftig gefördert werden. Forschung – und dies betrifft insbesondere diejenige in Chemie – darf vor interdisziplinären Schranken nicht Halt machen. Einerseits sind die Impulse aus Disziplinen wie der Biologie und Physik, welche die Chemie von jeher befruchtet haben (z. B. auf dem Gebiet der Naturstoffe), heute intensiver denn je. Eine lebendige, offene und weitsichtige Chemie wird auch von den Möglichkeiten der sich entwickelnden modernen Disziplinen, wie der Biotechnologie, für ihre Zwecke Gebrauch machen. Solche Integrationsprozesse hat die Chemie immer wieder zu ihrem Vorteil vorgenommen, z. B. den Einbezug des Computers oder den Einsatz von Enzymen für stereospezifische Synthesen, die Verwendung von Mikroorganismen zur Gewinnung von Antibiotika usw. Andererseits hat der Chemiker auch eine Funktion bei der Weiterentwicklung von Nachbardisziplinen. Ihm, dem Spezialisten der Moleküle, fällt die Aufgabe zu, in der Biologie das molekulare Denken tiefer zu verankern. Er kann z. B. wesentliche Beiträge zum Verständnis biologisch-dynamischer Prozesse auf molekularer Ebene leisten. Von ihm aus können aber auch wichtige Impulse für die Förderung gewisser Gebiete der Physik, Ingenieurwissenschaften und anderer Disziplinen ausstrahlen.

Durch solche Wechselwirkungen muss eine echte Partnerschaft zwischen Chemie und anderen Disziplinen

(Biologie, Physik, Ingenieurwissenschaften usw.) entstehen. Voraussetzung dazu ist das gegenseitige Verständnis der Partner, welches über die Grenzen der eigenen Disziplin hinausreicht. Dieser Aspekt verdient auch Berücksichtigung im Ausbildungsgang der einzelnen Berufe, besonders in jenem des Chemikers. Ein verstärktes Bewusstsein der Bedeutung der Chemie auf interdisziplinärer Ebene wird mithelfen, dem Beruf des Chemikers wieder eine erhöhte Attraktivität zu verleihen, was besonders in Hinsicht auf die heutige Stagnation des Zustroms von Chemie-Studenten an unsere Hochschulen wichtig ist.

5. Epilog

Janus war der römische Gott des Ausgangs und des Eingangs, im übertragenen Sinn der Vergangenheit und der Zukunft. Hier wurde ein Janus mit einem lachenden und einem weinenden Gesicht vorgestellt. Die Chemie darf punkto Bilanz ihre Leistungen mit zufriedenen Gesicht auf ihre Vergangenheit zurückblicken. Dass auch ihr zukünftiges Antlitz ein strahlendes sei, möge als Herausforderung für jeden Chemiker gelten.

Literatur

- 1 *F. Gutzwiller*: *Swiss Pharma* 4, 25 (1982).
- 2 *T. McKeown*: *The role of Medicine: dream, mirage, or nemesis?* Ed.: The Rock Carling Fellowship. Nuffield Provincial Hospitals Trust, London (1976) S. 82.
- 3 *M. Schär*: In: *Leitfaden der Sozial- und Präventivmedizin*. Verlag Hans Huber, Bern (1973).
- 4 *A. L. Cochrane, V. Springett*: In: *Screening in medical care. Reviewing the evidence. A collection of essays*. Nuffield Provincial Hospitals Trust, Oxford University Press, London (1968).
- 5 *W. J. Walker*: *N. Engl. J. Med.* 297, 163 (1977).
- 6 *M. Escher*: *Entwicklung der Hypertoniemortalität und des Antihypertensiva-Verbrauchs in der Schweiz*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1977).
- 7 *F. Gutzwiller, C. Schucan und B. Junod*: *Schweiz. Rundschau Med. (PRAXIS)* 71, 254 (1982).
- 8 *F. Gnirss*: *Schweiz. Ärzteztg.* 63, 289 (1982).
- 9 *M. F. Perutz*: *Cambridge Review*, 23. Oktober 1981, S. 11.
- 10 *Fakten zur Chemie-Diskussion Nr. 1, Februar 1980*. Hrsg.: Arbeitsring der Arbeitgeberverbände der Deutschen Chemischen Industrie e. V. (Wiesbaden) und vom Verband der Chemischen Industrie e. V. (Frankfurt).
- 11 *Ciba-Geigy-Magazin* 1/1979.
- 12 *M. F. Perutz*: *Ohne Chemie kein Brot*. *Die Zeit* Nr. 35, 21. August 1981.
- 13 *F. Karch und L. Lasagna*: *Adverse drug reactions in the United States. Medicine in the Public Interest, Report*, Washington D. C. (1975).
- 14 *M. D. Jick*: *N. Engl. J. Med.* 291, 824 (1974).
- 15 *M. D. Jick*: *N. Engl. J. Med.* 296, 481 (1977).
- 16 *K. Steel, P. M. Gertman, C. Crescenzi und J. Anderson*: *N. Engl. J. Med.* 304, 638 (1981).
- 17 *FAO-Bericht, Kommentar in Neue Zürcher Zeitung*, April 1979.
- 18 *M. Brand, M. Escher und A. Menzl*: *Kosten-Nutzen-Analyse Antidepressiva*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1975.
- 19 *P. Stolz*: *Psychopharmaka – volkswirtschaftlich analysiert*. *Basler sozialökonomische Studien*. Hrsg.: P. Bernholz, G. Bombach, R. L. Frey. Schulthess Polygraphischer Verlag, Zürich, 1974.
- 20 *M. C. Weinstein und W. B. Stason*: *Hypertension: A Policy Perspective*. Harvard University Press, Cambridge/Mass., 1976.