

Chemie Heute

Chimia 51 (1997) 69–75
© Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft
ISSN 0009-4293

Braucht es ein Plädoyer für Chemie?

Peter Strazewski*

Öffentliche Habilitationsvorlesung,
28. Juni 1996, Universität Basel [1]

Eine Habilitationsvorlesung ist unbestreitbar öffentlich, sie hat aber auch einen sehr privaten Aspekt. Für den Vortragenden ist sie meist einmalig, und bietet ihm oder ihr eine besondere Gelegenheit, sich an ein sehr heterogenes Publikum zu wenden. Ich habe einige Habilitationsvorlesungen gehört. Ich kenne zwei grob unterscheidbare Möglichkeiten: Die Idee der traditionellen Habilitationsvorlesung geht davon aus, dass das Publikum aus 'Studierenden' besteht, das jetzt eine 'erste Kostprobe' einer Vorlesung des oder der frisch ernannten Dozierenden zu hören bekommt. Das Thema muss nicht unbedingt ein Forschungsgebiet des Dozierenden sein, sondern kann ein interessantes Gebiet aus seinem oder ihrem Lehrstoff beinhalten. Dieser Stil hat symbolischen Charakter und ist mir sehr sympatisch. Am häufigsten jedoch wird die eigene Forschungsarbeit, die den Vortragenden während seiner Habilitationszeit beschäftigte, auf möglichst allgemein verständliche Art erklärt. Ich habe mir überlegt, wie ich meine bisherige Forschungsarbeit möglichst fantasievoll und farbig erläutern könnte, würde ich mich für diese moderne Art der Habilitationsvorlesung entscheiden. Machbar wäre es schon, obwohl ich gestehen muss, dass es mir einiges Kopfzerbrechen bereiten würde, den Vortrag so zu gestalten, dass nicht ein grosser Teil des Publikums,

derjenige nämlich, der nicht mit organischer Chemie vertraut ist, nach 15 Minuten mit dem Schlaf kämpfen müsste. Der Vorteil dieses Stils ist aber unbestreitbar, dass man etwas erzählt, was einen Tag für Tag intensiv beschäftigt.

Der traditionelle Stil betont eher die Lehre als die Forschung. Nun, ich überlegte mir: Was lehre ich denn zur Zeit? Ich bin eigentlich ein eingefleischter Synthetiker. Ich stelle Moleküle her und gebe auch weiter, wie man das macht. Natürlich könnte ich versuchen, einen spannenden Ausschnitt aus der synthetischen Chemie vorzustellen. Nur würde dabei aber, fürchte ich, ein Aspekt zu kurz kommen, nämlich die Erklärung, und zwar auf wirklich allgemein verständliche Art, weshalb genau diese oder jene Synthese so interessant sei. Ich höre schon meine Kollegen: 'Wieso? Das geht doch! Das ist doch dein täglich Brot.' Ja, das stimmt auch. Ich könnte schon.

Aber da gibt es noch etwas Drittes, was ich missen würde: Ich habe nämlich etwas auf dem Herzen, etwas, das ich bis jetzt nur einzelnen Personen anvertraut habe. Es ist weder ausgesprochene Lehre noch ausgesprochene Forschung, man könnte es mit 'Weltanschauung' umschreiben, obwohl dies dann doch zu hoch gegriffen wäre. Nennen wir es doch einfach 'Wissenschaftsanschauung'. Manchmal mache ich mir Sorgen um die Chemie als Wissenschaft. Nicht, dass sie für mich an Faszination eingebüsst hätte, nein, im Gegenteil. Aber, ich möchte gerne bei dieser Gelegenheit ein paar Gedanken zur Wissenschaft Chemie verlieren, zu ihrer Stellung unter den Naturwissenschaften, unter allen Wissenschaften, zu ihrer Bedeutung für die Gesellschaft, aber insbesondere für die junge Generation potentieller Wissenschaftler, vor allem Chemiker. Übrigens, immer wenn ich 'Wissenschaftler' oder

'Chemiker' sage, meine ich den Beruf und nicht das Geschlecht. Nun, dies waren die Beweggründe, weshalb ich jetzt 'ein Plädoyer für Chemie' halten möchte.

First the bad news. Seit einiger Zeit ist bekannt, dass die Studentenzahlen des Fachs Chemie rapide abnehmen, nicht nur in Basel, auch nicht nur in der Schweiz. Deutschland zählt mancherorts nur noch die Hälfte oder noch weniger der Studieneingänge, die vor wenigen Jahren noch üblich gewesen sind. In den Vereinigten Staaten verhält es sich genauso und vermutlich in vielen andern industrialisierten Ländern. Ursprünglich wollte ich Statistiken zeigen, die belegen, dass es momentan schlimm um uns zu stehen scheint. Ich war schon so weit, dass ich die mit den Jahren nach abwärts zeigenden Kurven der Studienabgänge dazu benutzen würde mittels Kurvenfitting auszurechnen, wo der vermutliche Achsenabschnitt des Trends zuliegen kommt; vor allem im Vergleich zu den andern Naturwissenschaften, insbesondere zur Biologie. Mit anderen Worten, wann es unsereins nicht mehr brauchen wird, weil niemand mehr Chemie studieren will. Natürlich wäre ich dann ein extremer *Advocatus Diaboli*, ein sehr zynischer. Das passt nicht zu mir, denn im Grunde bin ich ein unverbesserlicher, nein, ein verbesserlicher Optimist. Um aber trotzdem zu belegen, dass dieses Problem nicht meine Erfindung ist, sondern ein Thema, das zur Zeit viele Chemiker beschäftigt, möchte ich kurz aus zwei Artikeln zitieren. Der erste stammt vom Präsidenten der American Chemical Society, *Ronald Breslow*. Er wurde im Januar 1996 in *Chemical & Engineering News*, einer sehr weit verbreiteten US-Chemikerzeitschrift, publiziert. Aus 'the Presidents Message' [2]: *'The image of chemistry. Where is the unbridled optimism of the past that science was the engine that could move humanity into a golden age? Among most scientists, the optimism is still there and well founded, but much of the nonscientific public has a different view. Chemistry, in particular, has lost some of its glamour in the public eye. Advances in chemistry go unreported in the news, although we do get excellent coverage of every chemical accident. The 'science sections' in the major media – national newspapers, magazines, and television news programs – feature biology and physics, not chemistry.'*

*Korrespondenz: PD Dr. P. Strazewski
Institut für Organische Chemie
St. Johannis-Ring 19
CH-4056 Basel

Dies tönt schon sehr nach einem Klageged. Herr Breslow fährt aber fort, wie er diese Probleme lösen oder wenigstens zum Besseren kehren möchte. Beispielsweise setzt er sich für Öffentlichkeitsarbeit ein: Chemieausstellungen, Chemiemuseen, Chemieschnupperkurse für Kinder und Jugendliche. Er betont auch, dass wir Chemiker für unsere wissenschaftlichen Interessen in der Politik nicht genügend einstehten: *'Members of Congress commonly tell us that we scientists are remarkably silent about our own interests, compared with the lobbying activities of other professional groups. Chemists cannot afford to be reclusive.'*

Ebenso mahnt er uns, offen für neue Entwicklungen zu sein, mit anderen Naturwissenschaften intensiver zusammenzuarbeiten: *'Vigorous new fields are opening, in particular molecular biology and materials science. In the past, the field of biochemistry was often excluded as not being part of 'real' chemistry, and this was a big mistake. College and university chemistry departments must not be tied to past definitions that exclude some of the most exciting new chemical areas.'*

Etwas mehr auf die öffentliche Meinung eingehend ist der Artikel von einer Redaktorin des *Zürcher Tages-Anzeigers*, von Frau Rosmarie Waldner, der kürzlich in CHIMIA erschienen ist [3]. Der Titel: *'Das hässliche Entchen oder Gedanken zu den Imageproblemen der Chemie'*:

'[...] einmal im Jahr, in der zweiten Oktoberwoche, tritt die Chemie freundlich ins Bewusstsein der breiten Öffentlichkeit. Der Nobel-Preis für Chemie beweist dann, dass sich mit Chemie ehrenwürdige Verdienste erwerben lassen. Sonst herrschen negative Schlagzeilen vor: Gifte in Nahrungsmitteln, Luft oder Gewässer, gefährliche Nebenwirkungen von Medikamenten, von Chemieunfällen ganz zu schweigen. Obwohl allgegenwärtig im Leben der Menschen, ist kaum eine Wissenschaft so schlecht angesehen wie die Chemie. Woran mag das liegen? [...]

Ein Grund mag gerade in der so selbstverständlichen, unspektakulären Eingliederung der Chemie in den Alltag liegen. Es geht vordergründig nicht um fundamentale Fragen des Daseins. [...] Die unsichtbare Welt der Moleküle ist entrickt und als solche mit den Sinnen nicht zu fassen.

Zur unsinnlichen Sperrigkeit, in der sich die Thematik präsentiert, kommt die Sprache der Chemie. Gespickt mit unzugänglichen Fachwörtern und unverständlichen Formeln, haben es die Chemiker ungemein schwer, schon andern Akademikern ihr Sinnen und Trachten zu erläutern,

geschweige denn einem allgemeinen Publikum. Schülerinnen und Schüler werden zwar im Oberstufenunterricht mit Chemie konfrontiert, aber selten auf faszinierende Weise. So haben sie den Eindruck, mit trockenem Stoff traktiert statt mit grundlegenden Mechanismen im Weltgefüge vertraut gemacht zu werden.

Es bestehen wenig Anreize, sich im Studium auf diese schwierige, trockene Materie einzulassen. Seit Jahren klagt man in der Schweiz über den Mangel an Chemiestudierenden. In jüngerer Zeit ist nicht einmal mehr mit der Aussicht zu rechnen, ohne weiteres in der Industrie unterzukommen. Die Stellen in der Hochschulforschung und im Schulunterricht sind ohnehin dünn gesät. Was sollte junge Menschen – und ganz besonders Frauen – dazu veranlassen, sich diesem Studien-zweig zuzuwenden? Einem Fach, das abgesehen von seiner stofflichen Unzugänglichkeit in der Öffentlichkeit unter einem Negativ-Image leidet? [...]

Und hier liegt die Crux im Imageproblem der Chemie. Die negativen, die 'stinkenden' Aspekte der Wissenschaft werden ihr angelastet, die positiven jedoch den (grossen) Nutzniessern: Der Medizin, der Landwirtschaft, der Lebensmittelindustrie, der Textilindustrie usw. Wenn ein neues bahnbrechendes Medikament auf den Markt kommt, ist es die pharmazeutische Industrie (obwohl häufig ein Chemiewerk dahintersteht), sind es die Medizinerinnen und Mediziner, die den Fortschritt brachten. [...]

Deutlich ist, die erwünschten Chemikalien werden nicht oder zu wenig mit der Chemie identifiziert. Nicht nur die Welt der Moleküle ist dem Publikum unzugänglich, auch die Chemie als 'Fach für den Alltag' ist verkannt.

Chemie muss nach aussen kommunizieren. Die Chemie, [...] hat ein Problem mit der Verständigung [...]. Fachchinesisch und langweiliger Schulunterricht sind die eine Seite des Problems, mangelnde Einsicht, dass die Chemie ein Teil der Gesellschaft und somit mitteilungs-pflichtig ist, die andere. [...] Chemiker können durchaus kommunizieren [...]. Doch sie haben nicht gelernt, nach aussen zu kommunizieren – viel weniger jedenfalls als die Kollegen von der Physik.'

Die Lösungsansätze und Mahnungen lesen wir Chemiker nicht das erste Mal. Die Rufe nach mehr Offenheit und mehr Öffentlichkeit verhalten ja auch nicht im Leeren. Die Chemiedepartemente vieler Universitäten sind zur Zeit mit zum Teil recht grundlegenden Restrukturierungen beschäftigt. Dies bringt mit sich, dass Platz für Neues geschaffen wird, neue Gebiete

werden mit einbezogen, und es wird auch vermehrt mit der Öffentlichkeit kommuniziert (Stichwort: Unimesse 96). Ich bin überzeugt, dass schon in den nächsten vielleicht fünf Jahren die Früchte solcher Anstrengungen zum Tragen kommen werden. Doch ich befürchte, dass die Popularität der Chemie als Wissenschaft mit solchen Mitteln nur wenig, für uns zu wenig, beeinflusst werden kann.

Chemie ist im Grunde nicht trockener als Physik, nicht komplizierter und mit Fachausdrücken gespickter als Biologie. Die Formelsprache ist eher, fast möchte ich sagen lautmalend, nämlich bildhaft, graphisch, formbezogen. Vergleichen sie die chemische Formelsprache mit derjenigen der Physik. Die ist viel abstrakter. Oder mit der biologisch-lateinischen Nomenklatur. Ich kenne manche Leute, die 'Ha-zwei-Oh' leichter aussprechen können als 'Eleuterozoa'. Katastrophen gibt es in vielen nicht-chemischen Bereichen, obwohl Chemie zugegebenermassen fast immer eine Rolle spielt, sie spielt ja eben überall eine Rolle. Was unser Bophal ist, ist des Physikers Hiroshima oder Tschernobyl, ist des Biologen BSE ('blame somebody else'), ist des Politikers und Nationalökonomens Krieg, Verarmung und Rezession, usw. Alle Wissenschaften haben ihre dunklen Seiten. Auch gibt es schlechte und gute Lehrer, die ihren Stoff, welcher es auch immer sei, trocken-langweilig, oder begeistert-fundamental vermitteln. Ich glaube nicht, dass man alleine mit dem Argument, es sei dies eine unverständliche und 'stinkende' Wissenschaft, das Problem erklären kann. Denken Sie an die Wohlgerüche, an Parfums, die sind auch chemisch. Frau Waldner hat aber etwas kurz angedeutet, was meines Erachtens des Pudels Kern sein könnte: Nämlich die **fundamentalen Fragen des Daseins**.

Physik, Astronomie und Chemie gehören zu den ältesten der Naturwissenschaften. Das theoretische Gerüst der Chemiker ist in der Tat sehr weit fortgeschritten, sodass wir beispielsweise mit den heutigen Mitteln das Verhalten und die Struktur vieler Moleküle, Stoffe voraussagen können; dies aufgrund der zum grössten Teil korrekten theoretischen chemischen Modelle, die wir uns seit vielleicht zwei Jahrhunderten oder mehr erworben haben. Auch die Analyse- und Synthesekunst ist besonders in den letzten Jahrzehnten sehr weit fortgeschritten. Wir haben grundsätzlich die Mittel, fast beliebige Moleküle, also solche, die wir uns vorher ausdenken, ob Fantasiemolekül oder der Natur abgeschaut, auf chemisch-synthetischem Wege herzustellen und zu

charakterisieren. Und weil tatsächlich uns auf Schritt und Tritt Produkte der chemischen Forschung im Alltag begegnen, sehen wir leicht ein, dass die Verantwortung der chemischen Wissenschaften gegenüber der Gesellschaft eine grosse ist. Es ist ja auch so, dass wir uns vor allem gefordert fühlen, wenn es darum geht, irgendwelche Eigenschaften von heute in der Gesellschaft wichtigen Substanzen, seien es Medikamente, Kunststoffe, Agrarprodukte, Produkte für die Elektronik, umweltverbessernde Produkte oder ähnliche, zu verbessern. Von uns erwartet man – so sagen wir selbst, so wird von anderen wissenschaftlichen, ökonomischen und politischen Instanzen gefordert –, dass wir uns darauf konzentrieren sollten, die **Probleme der Menschheit** mit allen Mitteln, die uns zur Verfügung stehen, anzugehen. Die meisten von uns, würd ich sagen, fühlen sich betroffen und sind dann motiviert, wenn sie an allgemein anerkannt wichtigen Problemen arbeiten.

Wir leben seit zwei Jahrhunderten in einer 'aufgeklärten' Welt. Dies hat mit sich gebracht, dass sie auch technisierter geworden ist. Offensichtliche Probleme der Menschheit sind oberflächlich gesehen materieller Natur. Die Chemie ist eine materielle Wissenschaft, und so fühlen wir uns berufen, die Materie so präzise und wissenschaftlich wie nur möglich in den Griff zu bekommen. Wir nennen unsere Chemie eine präzise Wissenschaft, weil wir uns den Grundvoraussetzungen für eine wissenschaftliche Arbeitsmethodik sehr stark verpflichtet fühlen: Logik, Beweisbarkeit, Reproduzierbarkeit, örtliche und zeitliche Unabhängigkeit der Experimente. Spekulationen und Hypothesen haben deshalb nur am Rande Platz. Obwohl sie zugegebenermassen einen wichtigen Generator und Motor jeder Forschung darstellen, ist die Phase der Spekulation eine möglichst rasch zu überwindende, da man sich sonst auf nicht streng wissenschaftlichen, also nicht mehr objektiven Boden begibt.

Karl Popper, einer der einflussreichsten Wissenschaftsphilosophen unseres Jahrhunderts, begann schon in den dreissiger Jahren Anforderungen und Voraussetzungen der wissenschaftlichen Vorgehensweise detailliert zu formulieren. In seiner 'Logik der Forschung', die er während fünf Jahrzehnten mit zum Teil massiv erweiterten Neuauflagen zu verfeinern suchte, ermahnt er immer wieder insbesondere Wissenschaftler, extrem selbstkritisch zu sein und vorzugehen. Die Philosophie *Poppers* geht davon aus, dass wir aus unseren Irrtümern lernen, wenn wir auch niemals etwas gewiss wissen werden.

Wissenschaftlicher Kritizismus bedeutet, die Schwierigkeiten eines Problems dadurch deutlicher zu machen, dass wir alle Annahmen und Hypothesen einer Theorie zu falsifizieren versuchen, also sie so zu formulieren, dass man sich selbst und anderen immer eine Möglichkeit offen lässt, dieselbe Theorie zu widerlegen. Die strengen Argumente und wissenschaftlichen Forderungen des Logikers werden von uns Chemikern sicherlich ernst genommen. Wir haben sie uns schon früh auferlegt. Wir suchen keine Fragestellungen, die uns, wie wir oft sagen, 'philosophisch' erscheinen. Mit philosophisch meinen wir ganz volkstümlich, dass sie ja sehr wohl interessant und spannend sein mögen, aber dass wir mit unseren Mitteln doch nie dahinter kommen werden. Die Antworten auf solche Fragestellungen bergen die von uns Chemikern gefürchtete Gefahr, nie wissenschaftlich beweisbar oder falsifizierbar und somit wertlos zu sein. Die Ernsthaftigkeit, mit der wir zu dieser Logik der Forschung stehen, gekoppelt mit der Konkretheit der zu lösenden Probleme der heutigen Menschheit, liess insbesondere uns Chemiker, die wir ja so viel gegenüber der Gesellschaft zu verantworten haben, zu seriösen Pragmatikern werden – dies in einem vorerst wertfreien Sinn. Die naive Neugier eines Kindes, das ohne gewolltem Zusammenhang zu konkreten Problemen fundamentale Fragen stellt, ist nicht mehr unsere Sache. Wir können es uns kaum mehr leisten – ich sag's jetzt absichtlich provozierend – einfach so dahinzuforschen. Die jüngeren Wissenschaften, insbesondere die moderne Biologie, aber auch die Physik, so glaube ich, erlauben sich grössere Freiheiten, wenn es um nicht offensichtlich direkt anwendbare Fragestellungen geht. Dies ist ja auch kein Wunder, denn aus historischen Gründen sind die Betreiber der jüngeren Wissenschaften die unbelasteteren Zeitgenossen – immer relativ gesehen – und strahlen dies auch aus. Sie vermögen der Gesellschaft neben den sogenannten konkreten Problemlösungen auch philosophisch bedeutsame Erkenntnisse zu vermitteln. Wir Chemiker, wage ich zu behaupten, haben da eher einen autistischen Zug. Wir haben eine enorm erfahrungsreiche, farbige Innenwelt, ein famoses Gedankengerüst steht uns zur Verfügung, mit dem wir schier unmöglich Geglauhtes zu leisten vermögen, aber wir haben Schwierigkeiten, diese unsere Welt nach aussen zu tragen, den anderen Naturwissenschaftlern, aber auch der Gesellschaft als Ganzes... Jetzt scheinen wir uns im Kreis gedreht zu haben: Jaja, wir müssen nach aussen vermehrt kommunizieren. Das

haben wir schon gehabt. Aber vielleicht doch nicht ganz. Denn mir geht es jetzt um unsere innere Einstellung zu der eingangs erwähnten blanken Tatsache der mangelnden Offenheit und Öffentlichkeit.

Gerade weil wir so intensiv mit materiellen Problemen beschäftigt sind – leider ein Synonym für: in einer aufgeklärten Gesellschaft leben –, vernachlässigen wir immer mehr die alltägliche Pflege unserer geistigen Werte. Dies erkennt man beispielsweise daran, dass immer weniger Menschen religiöse Daseinserklärungen akzeptieren. Um es in den Worten *Friedrich Dürrenmatts* zu sagen – er legte 1953 in 'Der Verdacht' Emmenberger, dem Nihilisten, in den Mund: *'Ein Mensch der heutigen Zeit antwortet nicht gerne auf die Frage: Was glauben Sie? Es ist unschicklich geworden, so zu fragen. Man liebt es nicht, grosse Worte zu machen, wie man bescheiden sagt, und am wenigsten gar eine bestimmte Antwort zu geben, etwa zu sagen: 'Ich glaube an Gott Vater, Gott Sohn und Gott den Heiligen Geist', wie einst die Christen antworteten, stolz, dass sie antworten konnten. Man liebt es heute zu schweigen, wenn man gefragt wird, wie ein Mädchen, dem man eine peinliche Frage stellt. Man weiss ja auch nicht recht, woran man denn eigentlich glaubt, es ist nicht etwa nichts, weiss Gott nicht, man glaubt doch – wenn auch recht dämmerhaft, als wäre ein ungewisser Nebel in einem – an so etwas wie Menschlichkeit, Christentum, Toleranz, Gerechtigkeit, Sozialismus und Nächstenliebe, Dinge, die etwas hohl klingen, was man ja auch zugeibt, doch denkt man sich immer noch: Es kommt ja auch nicht auf die Worte an; am wichtigsten ist es doch, dass man anständig und nach bestem Gewissen lebt. Das versucht man denn auch, teils indem man sich bemüht, teils indem man sich treiben lässt.'*

Nun, um 1953 herum, also mitten in der Nachkriegszeit, war der Verfall von religiösen Werten in der Tat schon weit fortgeschritten. Die Wissenschaften übernahmen immer mehr die Rolle, Daseinserklärungen zu vermitteln. Natürlich taten sie dies schon immer, aber ein richtiges Massenphänomen wurde es erst in der technisierten Zeit. Je mehr wir an der technisierten Welt beteiligt sind, desto mehr verspüren wir einen Mangel an Antworten auf Fragen, die wir das letzte Mal als Jugendliche frei von der Leber weg gestellt haben: **Wer bin ich? Warum gibt es mich? Wie fing alles an? Was macht dies alles für einen Sinn? Gibt es Alternativen?** Je mehr wir dies verspüren, desto wichtiger für uns ist die geistige Nahrung, die wir von den Wissenschaften er-

warten, erhoffen. Der gleiche *Karl Popper*, der strenge Logiker, schrieb 1959 im Vorwort zur zweiten Auflage seiner 'Logik der Forschung' [4]: 'Ich glaube [...], dass es zumindest ein philosophisches Problem gibt, das alle denkenden Menschen interessiert. Es ist das Problem der Kosmologie: **das Problem, die Welt zu verstehen** – auch uns selbst, die wir ja zu dieser Welt gehören, und unser Wissen. Alle Wissenschaft ist Kosmologie in diesem Sinn, glaube ich; und für mich ist die Philosophie, ebenso wie die Naturwissenschaft, ausschliesslich wegen ihres Beitrags zur Kosmologie interessant. Würden sie aufhören, darin ihre Aufgabe zu sehen, so würde damit die Philosophie und auch die Naturwissenschaft ihre Anziehungskraft zumindest für mich völlig verlieren.'

Mag sein, dass nicht alle seine Meinung teilen. Aber gerade junge Leute, die sich für ein Studium entscheiden wollen, die aber eben noch nicht viele Kenntnisse oder Erfahrungen besitzen, um einen vertieften Einblick in bestimmte konkrete Probleme unserer Gesellschaft zu haben, die aber sehr offen und neugierig sind, verlangen von einem naturwissenschaftlichen oder geisteswissenschaftlichen Studium, dass es **auch** zu Antworten auf die fundamentalen Fragen des Daseins beisteuert. **Alle** Wissenschaftler müssen sich dieser vitalen Verantwortung nicht nur gegenüber angehenden Studierenden, sondern überhaupt der modernen, religionsarmen und technisierten Gesellschaft bewusst sein. Ich behaupte: Je besser eine Wissenschaft ihren Beitrag zu fundamen-

talen Fragen des Daseins nach aussen hin kommunizieren kann, desto eher erfüllt sie ihre nicht-materielle gesellschaftliche Aufgabe, desto grösser ist ihre Akzeptanz und Popularität in der Bevölkerung. Natürlich kann man auch übertreiben. Gerade Philosophen entziehen sich nur allzu oft dem Beitrag an materielle Problemlösungen der Gesellschaft, erscheinen der Wirklichkeit entrückt und leiden vielleicht auch deshalb nicht gerade unter überfüllten Hörsälen. Doch uns Chemiker betrifft dies sicher nicht. Wir erscheinen der Bevölkerung kaum als ausgerechnet der materiellen Werte entrückte Wissenschaftler. Und alle anderen Naturwissenschaftler auch nicht.

Wo stehen wir denn heute mit unseren Mitteln? Wo sind die Fronten unserer chemischen Forschung? Auf dem folgenden Lichtbild habe ich eine ganz grobe Einteilung unserer wichtigsten Fachgebiete darzustellen versucht (*Fig. 1*): Ganz unten sehen Sie den Bereich 'Synthese und Analyse', die Basis, welche unseren reichen Erfahrungsschatz im Manipulieren von Molekülen darstellt. Im wesentlichen ging und geht es immer noch darum, chemische Bindungen, welche den Atomverband in einem Molekül oder Metallkomplex zusammenhalten – für uns Organiker sind es hauptsächlich sogenannte kovalente Bindungen, bei Anorganikern kommen noch koordinative Bindungen dazu, aber dieser traditionelle Unterschied zwischen Anorganikern und Organikern ist heute obsolet geworden – jedenfalls diese Bindungen zu bilden beziehungsweise zu brechen. Auf diese Weise sind wir imstande, neue Mo-

leküle zu synthetisieren und zu analysieren. Seit einigen Jahrzehnten beginnen sich zwei Auswüchse aus dieser Basis zu manifestieren, wo nicht die starken Bindungen innerhalb der Moleküle und Metallkomplexe im Vordergrund stehen, sondern schwächere Wechselwirkungen, die für Erkennungsprozesse unter den Molekülen verantwortlich sind. Wir nennen dies auch 'molekulare Erkennung'. Ein Ast wird heutzutage mit supramolekularer Chemie bezeichnet. Supramoleküle, oder 'Übermoleküle', sind Komplexe aus verschiedenen oder gleichartigen Einzelmolekülen. Ein Paradebeispiel eines Supramoleküls ist vielleicht die Virushülle eines Bacteriophagen. Sie bildet ein wunderbar symmetrisches Gebilde aus verschiedenen Einzelmolekülen, Eiweissen nämlich, die sich unter günstigen Bedingungen spontan zusammenlagern. Es hat sich aber bei Chemikern so eingebürgert, dass wir mit Supramolekülen vor allem artifizielle Systeme meinen, welche, nachdem die Einzelteile von uns chemisch synthetisch hergestellt worden sind, ebenso spontan zusammenlagern. Die schwachen, nicht-kovalenten Wechselwirkungen, die solche Supramoleküle zusammenhalten, sind ebenso verantwortlich für sämtliche Prozesse, die eine Zelle am Leben erhalten. Der zweite Ast befasst sich mit der Untersuchung und Aufklärung von Strukturen und Reaktionen, die für gewöhnlich in Wasser unter, sagen wir, biotischen Bedingungen ablaufen. Die biophysikalische, bioorganische und bioorganische Chemie – wiederum eigentlich obsoleten Einteilungen – liegen im Zwischenbereich zwischen traditioneller Chemie und der Biochemie; Biochemie im allgemeinsten Sinne, also alles was mit Biologie auf molekularer Ebene zu tun hat: Biosynthese, Zellstoffwechsel, Enzymologie, Molekularbiologie etc. Das Wichtigste für die chemischen Bereiche ist der gegenseitige Erkenntnisaustausch zwischen den beiden Ästen.

Im Gegensatz zu den anderen Naturwissenschaften leben wir Chemiker in einer sehr eigenen Welt. Sie ist von uns selbst kreiert worden. Ich erlaube mir zu wiederholen, was unser frisch emeritierter Professor *Peter Schiess* in seiner Abschiedsrede betont hat [5], denn es zeigt unsere traditionelle Einstellung zu unserer eigenen Wissenschaft auf sehr markante Weise. *Marcellin Berthelot*, ein bedeutender Chemiker des letzten Jahrhunderts, schrieb 1860 in einem seiner Lehrbücher [6]: 'La chimie crée son objet. Cette faculté créatrice, semblable à celle de l'art lui-même, la distingue essentiellement des sciences naturelles et historiques.'

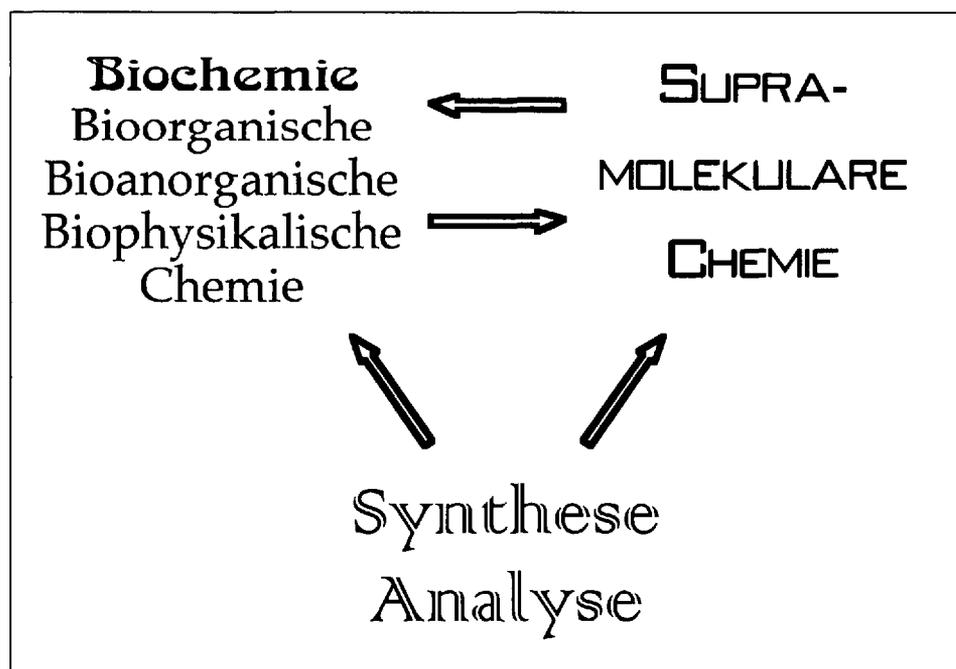


Fig. 1. Grobübersicht über die chemischen Forschungsbereiche

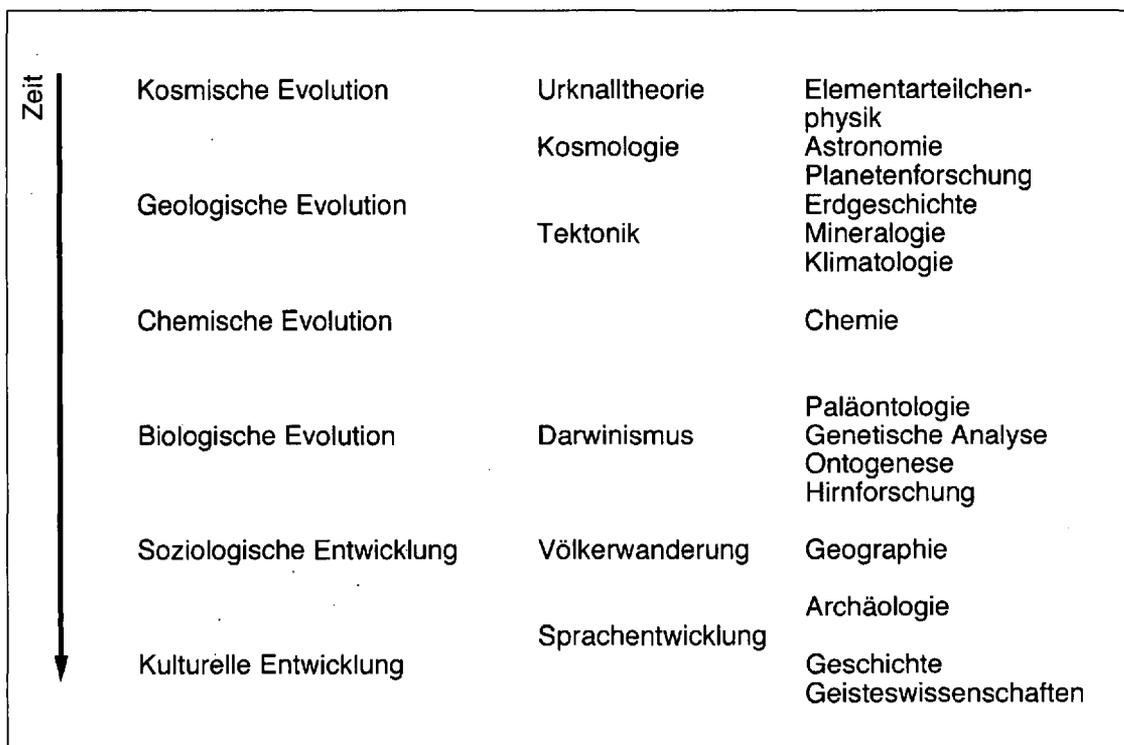


Fig. 2. Evolutionen, Theorien, Wissenschaften

Les derniers ont un objet donné d'avance et indépendant de la volonté et de l'action du savant.'

Man beachte: Berthelot zählte die Chemie nicht zu den Naturwissenschaften im engeren Sinne. Wir haben unsere eigenen Theorien der chemischen Bindungen, Moleküle, Reaktivität. Wir haben ein **zeit-unabhängiges Gedankengerüst** erarbeitet, mit dessen Hilfe wir fast beliebige Formen und Eigenschaften schaffen können. Wir kreieren seit Jahrhunderten eine Riesenvielfalt von Molekülen, zum größten Teil nie dagewesenen Stoffen. Man könnte sagen, was der Erde an Biodiversität tagtäglich verloren geht, 'kompensiert' der Chemiker mit molekularer Diversität. Ich gebe zu, auch mich erfüllt diese Tatsache der selbstgenerierten Kreativität mit einer gewissen Genugtuung, aber nur kurz. Schon bald macht sich in mir das unangenehme Gefühl breit, dass es wahrscheinlich höchste Zeit ist, unsere Sicht zu erweitern. Dass wir eine sich selbst kreierende Wissenschaftskunst betreiben, ergibt sich aus der Geschichte der Chemie. Wir haben uns damit einen reichen Schatz an Erfahrung und Manipulationsmöglichkeit geschaffen, den wir sinnvoll einsetzen wollen. Es wird aber offensichtlich, dass wir uns immer mehr mit anderen Fachgebieten auseinandersetzen müssen. Mit Festkörperphysik und sonstigen Materialkunden, mit der Elektronik, mit Biologie, mit Medizin, Pharmazie, mit Gebieten wie Hydrodynamik, Populationsdynamik, Quantendynamik. Einfacher ausgedrückt: Interdisziplinäre Forschung ist für

uns angesagt... Jetzt renne ich wieder offene Türen ein, werden einige von Ihnen sagen. Das ist ja gerade was wir seit einigen Jahren oder sogar Jahrzehnten eingesehen haben. Wir bilden uns und unsere Studierenden in vielen Nebenfächern aus. Wir betonen auf Schritt und Tritt die Wichtigkeit der interdisziplinären Forschung. Wir kollaborieren gerne mit andern Fachgruppen; dies ist schon fast selbstverständlich geworden. Jahr für Jahr erscheinen immer mehr Publikationen, die hochinteressante Resultate interdisziplinärer Forschung aufzeigen.

Ich glaube: Es braucht mehr. Was wir oftmals tun, wenn wir interdisziplinär arbeiten, ist uns mit der **Arbeitsmethodik** der andern Gebiete zu befassen. Woran es uns Chemikern eher fehlt, ist die **Theorien** der anderen Wissenschaften in unsere Forschung einzubeziehen; oder anders ausgedrückt, zum Aufbau eines **übergeordneten Gedankengerüsts**, zu welchem viele der anderen Wissenschaften beitragen, ebenso beizutragen. Was ich damit meine, kann ich auf dem nächsten Lichtbild erklären. Aber lassen Sie mich noch vorausschicken: Unser Problem 'die Welt zu verstehen', welches **für die Bevölkerung** in früheren Jahrhunderten vor allem die Sache der Geistlichen war, beginnt immer, sowohl in den Religionen wie in den modernen Wissenschaften, mit dem Versuch, einen zeitlichen, historischen Entwicklungsprozess, die Genesis im allgemeinsten Sinne, zu beschreiben. Für viele Wissenschaftler, und immer häufiger für die nicht-wissenschaftliche Bevöl-

kerung, begann die absolute Zeit mit einer Riesenexplosion, dem Urknall. Vorher war nichts, das heisst, nichts Wirkliches, sondern nur potentiell Wirkliches. Es entstand: Alles, Strahlung, Materie, Raum und Zeit (Fig. 2).

In der linken Kolonne sehen Sie eine Auflistung von Entwicklungen, **Evolu-tionen**, die unsere Vergangenheit beschreiben. Die kosmische Evolution beinhaltet das Entstehen unseres Universums, das Aufblähen von Raum und Zeit, die Materialisierung kleinster, kleiner und grosser Gebilde, wie Galaxienhaufen, Galaxien, Sternen und Planetensystemen. Die geologische Evolution steht für die Entwicklung von Planeten, ihrer Strahlungsfelder, von Planetenoberflächen, von ihren festen, flüssigen und gasförmigen Sphären. Es setzt eine chemische Evolution ein, unter dem Einfluss der Sonne und der inneren Wärme eines Planeten, zuvorderst unseres Heimatplaneten Erde. Immer kompliziertere Moleküle entstehen spontan auf der Planetenoberfläche, auf Gestein, im Wasser und in der Luft. Chemische Prozesse, Reaktionen, bilden die Grundlage für das Entstehen von ersten Lebensformen: die biologische Evolution setzt ein. Lebewesen breiten sich in einer ungeheuren Geschwindigkeit über fast den gesamten Planeten aus, verändern die Zusammensetzung der Erdoberfläche, ja sogar der Erdatmosphäre, nachhaltig, konkurrieren um natürliche Ressourcen und bilden verschiedene Arten und Populationen. Die Entwicklung von Populationen, seien es Mikroorganismen, Pflanzen oder

Tiere, bildet die biologische Grundlage der soziologischen Entwicklung auch der Menschheit, welche im Einsetzen einer kulturellen Entwicklung einen weiteren, letzten Entwicklungssprung erfährt. Die Gesamtheit der Entwicklungen kann man als einen gigantischen, spontan entstandenen Selbstorganisationsprozess verstehen, welcher immer wieder eine neue Ebene zur Auffaltung begehrt.

In der mittleren Kolonne sehen Sie die Auflistung verschiedener **Theorien**, Gedankenmodelle, die diese Entwicklungen bis ins Detail wissenschaftlich zu erklären suchen. Die Liste ist weder vollständig, noch völlig unumstritten, noch ist sie wahrscheinlich optimal in Worte gefasst. Ich habe hier als Laie versucht, die wichtigsten Theorien mit einigermaßen verständlichen Stichwörtern zu markieren. Wir haben eine Urknalltheorie, den zentralen Bestandteil der Kosmologie, welche das Schicksal der entstandenen Materie und Strahlung beschreibt. Wir haben eine Theorie der Tektonik. Mit Tektonik meine ich die Theorie der Entstehung und Bewegung der Planeten, Planetenoberflächen, der Meere und Kontinente. *Charles Darwins* Theorie der biologischen Evolution durch Mutation, Selektion und Adaption beschreibt auf enorm umfassende Weise alle biotischen Prozesse auf unserem Planeten. Mit Völkerwanderung meine ich die Theorie über den Ursprung des Menschen und seiner Ausbreitung seit dem Pleistozän, also im Verlaufe der letzten zwei Mio. Jahre. Die Theorie der menschlichen Sprachentwicklung schliesslich erklärt den Beginn unserer Kultur.

In der rechten Kolonne werden **Fachgebiete** aufgezählt, die massgeblich an den Theorien beteiligt sind. Die Elementarteilchenphysiker schiessen mit enormen Energien und enormem finanziellem Aufwand Teilchen aufeinander los, nicht etwa nur um alle möglichen Teilchen zu tabellieren und klassifizieren, sondern weil sie genau wissen, dass sie damit tief in die Vergangenheit schauen. Je höher die Energien, desto tiefer in die Vergangenheit, näher beim Urknall. Sie benützen also sozusagen die Energie als Messlatte für die Zeit. Ihre Methodik erlaubt die Rekonstruktion von kosmisch ertümlischen Prozessen. Die Astronomen schauen mit ebenso grossem finanziellem Aufwand in die Sterne. Auch sie wollen nicht nur beschreiben, sondern nützen die Lichtgeschwindigkeit aus im Zusammenhang mit kosmologischen Theorien, vor allem mit *Einsteins* allgemeiner Relativitätstheorie, um tief in die Vergangenheit zu schauen. Für uns Menschen ist die Gegenwart auf nahe Distanzen begrenzt, in der Ferne

beobachten wir die Vergangenheit. Die Planetenforscher untersuchen die umliegenden Planeten, um zu erfahren, welche Entwicklungen möglich sind und wie es wohl früher auf der Erde ausgesehen haben mag. Die Erdgeschichte wird von Mineralogen und Klimatologen mitrekonstruiert. Sie verfügen über mehrere Techniken, Isotopengehaltsmessungen, Echo-metrie, Grabungen, um die Spuren vergangener und begrabener erdgeschichtlicher Prozesse aufzudecken. Auch die Paläontologen benützen die Methode des Grabens, um aus Versteinerungen von vergangenen biologischen Lebensformen mehr über unsere biologische Vergangenheit zu erfahren. Neuerdings gesellt sich die Methode der genetischen Analyse zum Aufdecken von Stammbäumen. Diese extrem nützliche Technik stützt sich auf eine molekulare Variante der Theorie *Darwins*, um aus Ähnlichkeiten von verwandten Genen unterschiedlicher Organismen ihren Verwandtschaftsgrad zu bestimmen. Die Ontogenese, also die Entwicklungsbiologie, deren Untersuchungsgegenstand einzelne Zellen, Organe oder Individuen sind, trägt enorm wichtige Erkenntnisse zur biotischen Entstehungsgeschichte bei. Die Entwicklung des kompliziertesten Organs, des menschlichen Gehirns, wird von vielen verschiedenen Fachgebieten aus der Biologie, Medizin, Psychologie, Philosophie und Informationslehre zu erklären versucht. Schliesslich benützen die Geographen und Archäologen Ausgrabungen, die Historiker, Geisteswissenschaftler datierbare Chroniken und den Kalender als Messlatte für die Zeit, um auf die Spur menschlichen Tuns zu kommen.

Sie haben längst bemerkt, dass ich zwischen der chemischen Evolution und den chemischen Arbeitsmethoden ein beiges Loch [7] hinterlassen habe. Wir Chemiker haben noch keine Theorie der chemischen Evolution zur Hand, obwohl wir über sehr breit gefächerte Mittel verfügen, wie man aus dem grossen Abstand um das Wort Chemie herum ablesen kann. Chemisches Wissen wird sehr wohl von Mineralogen, Klimatologen, Paläontologen, Biochemikern, Molekularbiologen und Genetikern genutzt. Die Chemie ist im Gegensatz zu den meisten anderen Wissenschaften nicht-historisch. Alle Theorien und Modelle, auf die wir bauen, benötigen die Zeit nur in sehr kurzen, relativen Bereichen. Die Entwicklung von Prozessen auf einer Zeitskala, welche um Grössenordnungen grösser ist als die Prozesse selbst, ist vernachlässigbar, weil wir davon ausgehen, dass die Reaktionspartner sich über lange Zeiten in einem sogenann-

ten thermodynamischen Gleichgewicht befinden.

Dies ist natürlich eine vereinfachende Annahme, denn die Erde ist kein isoliertes System. Sie war seit ihrem Entstehen vor rund 4.5 oder 5 Mrd. Jahren unter der Einflussosphäre der Sonne, aber auch eingebettet in einer relativ homogenen Strahlung, dem 'Photonenmeer' mit drei Kelvin Strahlungstemperatur. Die Sonne hat eine effektive Oberflächentemperatur von 5800, die Erdoberfläche eine von rund 260 Kelvin [8]. Stellen Sie sich eine Wärmekraftmaschine vor: Man benötigt ein Reservoir für Wärme hoher Temperatur, wie zum Beispiel einen Dampfkessel, und ein Reservoir für Wärme geringer Temperatur, einen Fluss oder See oder die Umgebungsluft. In diesem Gefälle arbeitet die Wärmekraftmaschine, welche aus der herabfliessenden Wärme einen Teil in nutzbringende mechanische Arbeit umwandelt, indem sie Wärme der höheren Temperatur aufnimmt und Wärme geringerer Temperatur wieder abgibt. Betrachten wir jetzt das System 'Photonenmühle' Erde. Sie nimmt einen Wärmestrom von etwa 10^{17} Watt, Photonen von 5800 Kelvin, auf und gibt die gleiche Wärmemenge von 10^{17} Watt wieder ab, Photonen, deren Temperatur dann nur noch 260 Kelvin beträgt. Die thermodynamische Stärke der Triebkraft dieser Mühle, es ist etwa ein Watt pro Quadratmeter und Kelvin, treibt die molekulare Selbstorganisation und Evolution auf der Erde an. Diesem Umstand ist es zu verdanken, dass vor rund 4.5–3.5 Mrd. Jahren immer kompliziertere Moleküle und für Chemiker eher ungewohnte Prozesse auftraten, wie z.B. eine zeitliche Anreicherung reaktiver Verbindungen, welche im Gleichgewicht eigentlich instabil wären. Oder ein örtlich konzentriertes Auftreten einer Klasse von Molekülen, obwohl sie im Gleichgewicht längst ausgedünnt wären. Solche abiotisch-chemischen Prozesse können im Prinzip überall im Universum zu fast jeder Zeit stattfinden, wenn gewisse einfache Parameter wie Druck, Temperatur und Energiefluss in einem günstigen Bereich liegen. Aber eine Suche nach Spuren vergangener chemischer Prozesse ist ungemein schwierig, denn wir Chemiker haben keine Messlatte für die Zeitdimension zur Hand, ganz im Gegensatz zu den Physikern, Astronomen, Geologen, Biologen, Geographen usw. Mit vergangenen chemischen Prozessen meine ich nicht, dass sie jetzt nicht mehr stattfinden; nur, dass sie aufgrund der Überdominanz biologischer Prozesse auf unserem Planeten nur sehr schwer aufzufinden sind. Bedenken Sie, dass auf unserer zwar manchmal fast totgesagten, aber

doch vor Leben strotzenden Erde der unvergleichlich grösste Teil aller natürlich vorkommender Moleküle biotischen Ursprungs ist. Welche Moleküle gab es schon früher? Zu welchem Zweck wurden sie später von Zellen, Organismen verwendet? Wie wurden sie dabei umgeformt? Wie entstanden die ersten 'Stoffwechsel', zirkuläre Reaktionen? Kompartimente? Membranen? Informationsspeicher? Katalysatoren? Stützstrukturen? Wie pflanzten sich Informationsspeichermoleküle fort? Wie kam es zu dieser für alle modernen Lebewesen fundamentalen Verbindung, fast möchte ich sagen Heirat, zwischen Informationsträgern und Funktions-trägern, Nucleinsäuren und Proteinen nämlich?

Die Spurenlese nach präbiotischen Molekülen, einfachen Reaktionen und komplizierteren, cyclisch wiederkehrenden Prozessen, nach Keimen, die schlussendlich zu so etwas wie Lebenszellen geführt haben, und dies vermutlich innert relativ kurzer Zeit, kann aber auf eine andere Art durchgeführt werden. Es entspricht nicht ganz der Wahrheit, wenn ich an der Stelle einer chemischen Evolutionstheorie einen beigen Hintergrund hinterlassen habe. Wenn Sie ganz scharfe Augen haben und die Farbpixel an diesem Ort genau unter die Lupe nehmen, werden sie proportional zum Aufwand, der weltweit für chemische Forschung investiert wird, einige andersfarbige Tupfer entdecken. Sie symbolisieren Anstrengungen, eine Theorie des spontanen, abiotischen Entstehens von immer komplizierter werdenden Molekülen und Reaktionen zu erarbeiten. Wenn Sie ein Elektronenmikroskop zur Verfügung hätten – sprich: sich in die Fachliteratur vertiefen würden –, entdeckten Sie sogar wundervolle wachsende Keime einer solchen Theorie. Nicht nur das, Sie würden sehen, dass die Forscher, die dafür verantwortlich sind, oft Koryphäen sind, Meister ihres Fachs [9]! Ich übertreibe natürlich ein wenig mit den Farbpixeln, denn ich will damit betonen, dass meines Erachtens immer noch viel zu wenig in dieser Richtung geforscht wird – auch wenn es einige sehr eindrucksvolle Arbeiten über präbiotische und frühbiotische Chemie gibt – und dass weder unsere Studierenden noch der Rest der Bevölkerung genügend darüber informiert werden. Es wäre schön, wenn nicht nur wenige, ausgesprochen talentierte Forscher sich dieses Themas annehmen würden, sondern wir ganz gewöhnlichen Chemiker ebenso. Um es klarer auszudrücken: Ich propagiere hier **nicht**, dass alle Chemiker präbiotische oder frühbiotische Forschung betreiben sollten – das wäre unrealistisch

und wahrscheinlich der Sache gar nicht dienlich –, sondern, dass sich alle akademisch tätigen Chemiker vermehrt mit den Gedankenmodellen anderer Naturwissenschaftler auseinandersetzen, insbesondere was die Zeitkomponente betrifft, und dass wir die Erkenntnisse aus chemischen Experimenten, die beispielsweise durch chemische Rekonstruktion eine Theorie der molekularen Evolution aufbauen helfen, unbedingt unseren Studierenden weitergeben. Unsere Öffentlichkeitsarbeit besorgt den Rest.

Zum Schluss möchte ich *Günter von Kiedrowski* zitieren, der es einmal auf den Punkt gebracht hat: *'Die organische Chemie ist nicht – wie es einmal formuliert wurde – eine 'reife ältere Dame', die sich selbst am wichtigsten nimmt, sondern eine junggebliebene Mutter, die sich aktiv um den Fortschritt ihrer Kinder bemüht.'*

Eingegangen am 1. November 1996

- [1] Leicht redigierte Fassung der im Institut für Organische Chemie der Universität Basel gehaltenen Habilitationsvorlesung mit dem Titel 'Ein Plädoyer für Chemie'.
- [2] R. Breslow, *Chem. Eng. News* **1996**, 74, 2.
- [3] R. Waldner, *Chimia* **1996**, 50, 189. Das tatsächlich vorgetragene Zitat wurde hier auf das Wesentlichste gekürzt.
- [4] K. Popper, 'Logik der Forschung', Mohr, Tübingen, 7. Aufl., 1982, S. XIV.
- [5] Abschiedsvorlesung von Prof. Dr. P. Schiess im Institut für Organische Chemie der Universität Basel, 6.6.1996.
- [6] M. Berthelot, 'Chimie organique fondée sur la synthèse', Mallet-Bachelier, Paris, 1860, Band 2, S. 811.
- [7] Die Hintergrundfarbe des Lichtbilds war beige.
- [8] W. Ebeling, R. Feistel, 'Chaos und Kosmos: Prinzipien der Evolution', Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford, 1994.
- [9] Wissenschaftler wie *Stanley Miller*, *Manfred Eigen*, *Hans Kuhn*, *Graham Cairns-Smith*, *Leslie Orgel*, *Guy Ourisson*, *Albert Eschenmoser*, *Günter Wächtershäuser*, um nur einige zu nennen. Unter ihnen finden sich sowohl nach Spuren frühbiotischer Moleküle suchende 'molekulare Paläontologen' als auch Experimentatoren, die aufgrund ihrer experimentellen Resultate Theorien zur präbiotischen Chemie entwickeln ('Rekonstruktoren'), sowie Theoretiker, die aufgrund von Berechnungen und/oder Simulationen Thesen aufstellen, welche sie daraufhin mit Experimenten zu falsifizieren oder verifizieren versuchen ('Logiker').