

DAS FORSCHUNGSLABORATORIUM UND DIE ORGANISATION DES CHEMISCHEN HOCHSCHULUNTERRICHTS

CHRISTOPH MEINEL

aus: *Naturwissenschaftsdidaktik: Sommersymposium Essen 1993*, Naturwissenschaft und Unterricht - Didaktik im Gespräch, Bd 21, hrsg. von Altfrid Gramm, Helmut Lindemann und Elke Sumfleth (Essen: Westarp, 1994), S. 187-206

Der Triumphzug der experimentellen Naturwissenschaften in Deutschland war nicht zuletzt eine Leistung seiner Universitäten, Laboratorien und Forschungsschulen. Bereits nach der Schlacht bei Königgrätz (1866) wie auch nach Sedan (1870) hatte es geheißen, der preußische Sieg sei nicht im Felde entschieden worden, sondern in seinen Schulen, Hochschulen und Forschungslaboratorien. Mit Bewunderung und Schauder blickten Frankreich, England und Italien auf das neue Reich. In England suchte eine ganze Parlamentskommission, in Frankreich Adolphe Wurtz, in Italien Giorgio Roster, beides Chemiker, im Auftrag ihrer Regierungen in ausführlichen Berichten das Erfolgsgeheimnis der deutschen Laboratorien zu lüften.

Zwei Männer, ein Chemiker und ein Physiologe waren es, so der Leipziger Physiologe Carl Ludwig im August 1872 bei der Eröffnung der 45. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte, denen man all dies verdanke: Justus von Liebig und Johannes Müller. Sie waren es, die als erste die neue, forschungsorientierte Ausbildung in den naturwissenschaftlichen Unterricht der Universitäten eingeführt hatten.

"Aus diesen Schulen, in welchen die schaffende Thätigkeit des Lehrers vervielfacht, das bewusste Talent entwickelt und das schlummernde geweckt ward, gingen zahlreiche Entdeckungen, und was mehr, es geht aus ihnen ein junges Geschlecht hervor, das mit den Wegen der Forschung vertraut und mit Begeisterung für die Wissenschaft erfüllt ist." (Ludwig 1872, 35)

In der Tat ist das Forschungslaboratorium und der mit ihm verbundene Struktur- und Funktionswandel der Hochschulen einer der folgenreichsten Prozesse in der Wissenschaftsgeschichte des 19. Jahrhunderts. Denn mit den experimentellen Naturwissenschaften hatten Fächer neuen Typs in die traditionelle Gelehrteninstitution Universität Einzug gehalten. Nicht das Katheder oder die Studierstube war ihr Ort, sondern das Laboratorium. In Verbindung mit der Idee der Forschung und einem neuen didaktischen Konzept entstand hier ein Impuls, der zu einer Neuordnung der Hochschullandschaft in Deutschland und weit darüber hinaus führen sollte.

So gut dieser Prozeß im großen untersucht und beschrieben ist, so wenige verlässliche historische Studien zum Beitrag einzelner Fächer liegen bisher vor (Lockemann 1927). Etwas besser ist die Forschungslage zum Schul-Chemieunter-

richt. (Halasik 1988; Just 1989) Allein die Physik macht in dieser Hinsicht eine Ausnahme (Stichweh 1984; Jungnickel/McCormach 1985). Was Institutionalisierung, Professionalisierung und gesellschaftliche Bedeutung angeht, blieb die Physik jedoch stets hinter der sich rascher und breiter entwickelnden Chemie zurück, so sehr auch ihre theoretische Grundlegung der Chemie vorausseilen mochte. Doch nicht allein die Erkenntnisleistung einer Wissenschaft ist es, die ihre historische Bedeutung ausmacht. In der Chemie, so läßt sich ohne Übertreibung feststellen, bildet sich das neue Verhältnis von Wissenschaft, Wirtschaft und Staat im Industriealter erstmals heraus. Die Forschungslaboratorien der Chemie wurden zu Schmelztiegeln der Moderne.

Im folgenden wollen wir den vom chemischen Laboratorium ausgehenden Transformationsprozeß in einzelnen Etappen verfolgen. Dabei wollen wir uns von der Frage nach den Funktionszusammenhängen zwischen Laboratorium, Ausbildung und Forschungsorganisation leiten lassen. Leider ist gerade dieser Aspekt bisher allenfalls punktuell untersucht worden. An zusammenhängenden Darstellungen fehlt es ebenso wie an verlässlichen Daten und Fakten. Mit Zahlen über Laboratorien, Ausstattung und Finanzierung, Praktikanten und Absolventen allein wäre freilich noch nicht viel gewonnen. Denn diese könnten die qualitativen Sprünge kaum erklären. Um solche Diskontinuitäten aber soll es im folgenden gehen, zumal eine systematische Darstellung den vorgegebenen Rahmen überschritte.

SCHULEN DER PRAXIS

Bis ins 18. Jahrhundert verstand sich die Universität als Institution der Lehre. Es war ihre Aufgabe, gesichertes Wissen weiterzugeben, nicht aber, neues Wissen zu schaffen. Letzteres war Sache der Akademien oder blieb ins private Belieben des Professors gestellt. Was der frühmoderne Staat brauchte und sich in den Hochschulen heranzog, waren verlässliche Inhaber öffentlicher Ämter: Pfarrer, Richter, Verwaltungsbeamte und Ärzte. So taucht die Chemie denn auch zunächst als Hilfswissenschaft im medizinischen Curriculum auf, und zwar auf Arzneibereitung beschränkt. Bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts nur selten als eigenes Fach vertreten, gab es schon hundert Jahre später kaum noch eine europäische Universität, an der sie nicht wenigstens nominell zu den Unterrichtsfächern zählte.

Für Generationen gab hierbei der chemische Lehrkurs das Vorbild ab, den Hermann Boerhaave 1718 in Leiden eingerichtet hatte. Das daraus erwachsene Lehrbuch, seit 1724 in vielen Auflagen und Übersetzungen verbreitet, bietet eine konsequente Handlungs- oder Verfahrenslehre dar: Der allgemeine Teil handelt von den Agentien: den Lösungsmitteln und Gerätschaften des Chemikers; der spezielle Teil stellt 227 einzelne "Prozesse" vor, jeweils in Darstellung (*apparatus*) und

Nutzen (*usus*) gegliedert. Häufig beginnen sie mit einem "Man nehme ... " (*sumatur*) und laufen letztlich auf eine Lehre von den Rezepturen und den dazu benötigten Verfahren hinaus. Das Modell für diesen Darstellungstyp war die Pharmakopöe, das Arzneibuch des Apothekers. Es enthielt Vorschriften zur Herstellung von Präparaten, und befolgte man diese, so erhielt man das gewünschte Produkt in einer allein durch Herstellungsanweisungen standardisierten Qualität.

In Vortrag und Lehrbuch allein ist Handlungswissen nicht zu vermitteln. Die Anschauung muß hinzutreten. Dies war die Aufgabe der Demonstrationsvorlesung - oft fälschlich 'Experimentalvorlesung' genannt - oder der Demonstration einzelner Verfahren im Laboratorium, gelegentlich, wenngleich nicht immer, von praktischen Übungen begleitet. Seit dem frühen 17. Jahrhundert lassen sich denn auch in wachsender Zahl spezielle chemische Laboratorien an den Universitäten nachweisen. Ob diese nun reich oder primitiv ausgestattet waren, ob sie eigene vier Wände besaßen oder es sich um zeitweilig zweckentfremdete Küchen handelte, ob sie von Staats wegen unterhalten oder samt ihrer Ausstattung Privateigentum des Dozenten waren - in erster Linie war das Laboratorium ein Ort der Lehre, wo bewährte Verfahren demonstriert oder eingeübt wurden. Und dennoch war damit ein neues Element im schulisch-didaktischen Kontext geschaffen. Der Botaniker, der Zoologe, der Mineraloge kannten dergleichen nicht. Was sie besaßen, waren Schausammlungen - "leblose Institute", wie Wilhelm von Humboldt sie genannt hat. Dort wurde aufbewahrt und vorgezeigt, wurden Belegstücke der äußeren Welt unter die Systematik der Naturgeschichte subsumiert. Die Chemie hingegen besaß Werkstätten, in denen hervorgebracht wurde, was die Natur nicht anzubieten hatte, samt dem dazu erforderlichen Handlungswissen. Doch so lange der Student "in der Zwangsjacke des Recepts operirte" wurde er, wie Emil Erlenmeyer 1871 feststellte, "zum Laboranten, um nicht zu sagen zum Handwerker erzogen" (Erlenmeyer, 1871, S. 12).

VON DER "PENSIONSANSTALT" ZUM "INSTITUT"

Die Adressaten des praktisch-chemischen Unterrichts waren in erster Linie künftige Apotheker. Die Bedeutung dieses Berufsstandes für die Herausbildung des chemischen Hochschulfaches und die Entstehung eines neuen Typus universitärer Ausbildungseinrichtungen ist verschiedentlich dargestellt worden. In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts war die traditionelle Apothekerausbildung in der Form eines handwerklichen Lehrverhältnisses als unzureichend erkannt worden. Ein Universitätsstudium aber schied wegen der Kosten und Voraussetzungen aus. Vertreter der Apothekerschaft drängten deshalb auf eine Reform der innerberuflichen Ausbildung. Ein gründliches Training in Chemie, vor allem in chemischer Analytik, erschien der geeignete Weg. Dem Beispiel Johann Christian Wieglebs, eines

Apothekers in Langensalza, folgend, entstanden nun zahlreiche private chemische Lehranstalten. In diesen sollten sowohl künftige Apotheker als auch sonstige Gewerbetreibende eine wissenschaftlich-praktische Ausbildung erhalten. Das erfolgreichste dieser Institute war die 1795 in Erfurt eröffnete *Chemisch-physikalische und pharmaceutische Pensionsanstalt für Jünglinge* von Johann Bartholomäus Trommsdorff, deren Besuch von 1823 an formell sogar mit dem einer Universität gleichgestellt war.

Aus solchen pharmazeutischen Lehrinstituten sind viele der späteren chemischen Universitätsinstitute hervorgegangen. Denn ihre Leiter hatten häufig selbst Professuren für Chemie und Materia Medica inne und konnten somit die zunächst als private Internate betriebenen Anstalten nach und nach in die staatlichen Hochschulen eingliedern.

Das kleine *Chemisch-pharmaceutische Institut*, das der gerade 22jährige Justus Liebig 1825 in Gießen gemeinsam mit einem Mineralogen, einem Physiker und einem Mathematiker ins Leben gerufen und zunächst im Schatten der eigentlichen Universität als privatwirtschaftliches Unternehmen geführt hatte, steht in der direkten Nachfolge des Trommsdorffschen Modells. In einem einjährigen Kurs sollten hier Apotheker, Drogisten, Fabrikanten und Verwaltungsbeamte ihre berufspraktische Ausbildung wissenschaftlich abrunden. Der Unterricht fand in den Räumen und im Chemischen Laboratorium der Universität statt. Das Schulgeld floß den Professoren direkt zu, doch hatten diese dafür alle Lehrmittel und Verbrauchsmaterialien zu bestreiten.

Während nun die Landesregierungen die Vorzüge dieses Modells durchaus erkannten, regte sich Widerstand in den Reihen der Universitäten. Diese sahen nämlich sowohl ihr Ausbildungsmonopol als auch ihre korporative und administrative Einheit durch ein strukturfremdes privatwirtschaftliches Element bedroht. In Gießen etwa stellte ein Mitglied des Senats in einem scharfen Gegengutachten fest, es sei Aufgabe der Universität, künftige Staatsdiener heranzubilden, folglich liege die Ausbildung von Apothekern, Seifensiedern, Bierbrauern, Likörfabrikanten, Färbern, Essigsiedern, Drogisten und Spezereikrämern [man beachte die rhetorische Antiklimax!] außerhalb ihrer Zuständigkeit. Wer Unternehmer und nicht Staatsdiener werden wolle, könne den Staat nicht für seine Ausbildung zur Kasse bitten. Die Folge war, daß das Gießener *Institut* zwar geduldet, bis 1835 jedoch nicht als wirklicher Teil der Universität betrachtet und daher in Ausstattung und Etat - bis hin zur Besoldung der Assistenten - von Liebig privat finanziert wurde.

Ähnliche Verhältnisse finden sich noch bis in die 1860er Jahre an vielen deutschen Universitäten. Denn so lange eine nennenswerte chemische Industrie nicht existierte und für die Lehrerausbildung naturkundliche Grundkenntnisse vollkommen

ausreichten, galt die Chemie als kostspielige Liebhaberei, von der die Allgemeinheit wenig profitiere. Noch 1872 mußte Hermann Kolbe in Leipzig feststellen:

"Man hört nicht selten die Ansicht äußern, der Staat erziehe sich an den Universitäten die Juristen, Theologen, Philologen, Mediziner, auch Pharmazeuten, deren er nothwendig bedürfe, und deshalb sei es in der Ordnung, daß er denselben die zu ihren Studien nötigen Materialien und Hülfsmittel liefere; etwas anderes sei es mit denjenigen, welche speziell Chemie studieren. Der Staat als solcher bedürfe der Chemiker nicht, und es könne nicht von ihm verlangt werden, daß er zur akademischen Ausbildung des Chemikers Opfer bringe." (Kolbe, 1872, S. xliv)

Damit ist die Grundkonstellation des Konflikts markiert, den die Einbeziehung des Chemischen Laboratoriums in die Lehrverfassung der Universität auslöste: auf der einen Seite das administrative Selbstverständnis der Universität als staatliche Schule für Beamte - auf der anderen die professionellen Sonderinteressen einer aufstrebenden Berufsgruppe, die in die private Wirtschaft und nicht in den Staatsdienst strebt; als Streitpunkt dazwischen: die unverhältnismäßig hohen Kosten einer praktisch-wissenschaftlichen Ausbildung. Dabei ging es natürlich um mehr als nur um Chemie: Es galt, die Beziehungen zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Staat neu zu ordnen und die Aufgaben der Hochschulen in einer modernen Gesellschaft zu definieren.

INSTRUMENT UND ÜBERSCHWANG: GEBURT DER FORSCHUNGSGRUPPE

Gießen gilt als der Ort, wo dieser Konflikt erstmals und richtungweisend gelöst wurde. Daß hier der früheste systematische Unterricht in Experimentalchemie stattfand, daraus die erste wirkliche Forschungsschule hervorging und Liebigs Chemisches Institut folglich zur Stammutter aller chemischen Forschungsinstitute wurde, ist ein Gemeinplatz der Chemiegeschichte (Farrar 1975; Krätz/Priesner 1983). Daß Experimentalunterricht zur Forschung hinführt, wird dabei stillschweigend vorausgesetzt.

Neuere Untersuchungen haben Zweifel an diesem Ursprungsmythos angemeldet. (Holmes 1989; Fruton 1990) In einer sorgfältigen Analyse von Ausbildung und Forschung in Liebigs 15 ersten Gießener Jahren hat Frederic Holmes kürzlich nachgewiesen, daß der Eindruck einer bewußten und zielgerichteten Strategie zur Durchsetzung des neuen, forschungsorientierten Ausbildungskonzeptes - wie ihn gerade auch Liebig selbst retrospektiv propagiert hat - dem historischen Sachverhalt nicht gerecht wird. Vielmehr war die Verbindung von Lehre und Forschung Resultat eines mehrstufigen, begrenzte Möglichkeiten geschicklich nutzenden Prozes-

ses, die Organisation wissenschaftlicher Arbeit den jeweiligen Verhältnissen entsprechend zu optimieren.

Zunächst hatte Liebig offenbar nicht viel mehr im Sinn als eine Schule für Apotheker nach Art der von Trommsdorff begründeten, wenn auch mit dem Unterschied, daß die praktische Ausbildung und die chemische Analyse größeren Raum einnahmen:

"Eine dreijährige Erfahrung hat mich gelehrt, daß der Unterricht in der praktischen und analytischen Chemie, so wie er in den chemisch-pharmazeutischen Instituten gewöhnlich betrieben wird, bei weitem nicht zureicht, um einem jungen Mann nur einigermaßen Fertigkeit und Gewandheit in analytischen Arbeiten zu verschaffen; ich habe deshalb schon seit einem Jahre [= 1827] eine Änderung in dem Lehrplan des hiesigen chemisch-pharmazeutischen Institutes getroffen. Die Eleven des Instituts besuchen jetzt während des Sommersemesters die Vorlesungen über Chemie, Botanik, Mineralogie als Vorbereitungswissenschaft; das ganze Wintersemester aber ist den praktischen Arbeiten in den chemischen Laboratorien der Universität gewidmet, worin sie von morgens bis abends sich mit analytischen Arbeiten jeder Art beschäftigen müssen; dieser Unterricht ist mit wöchentlichen Examinatorien verbunden." (Liebig, 1827, S. 98)

Von einer systematischen Anleitung zur Forschung konnte dabei nicht die Rede sein. Auch hatte Liebigs eigenes Forschungsprogramm zu diesem Zeitpunkt noch keine rechte Kontur gewonnen. Themen, wie er sie hier und da aufgriff, wurden auch anderswo ähnlich bearbeitet. Mitarbeiter waren daran kaum je beteiligt. Den wenigen Doktoranden aus jener Zeit überließ Liebig Themen, die sich als Nebenaspekte eigener Untersuchungen ergeben hatten.

Die wichtigste Änderung dieser Lehr- und Forschungspraxis ging bemerkenswerter Weise von einer apparativen Methode aus, Liebigs Verfahren der organischen Elementaranalyse. Bekanntlich hatte er 1831 ältere Verfahren zu einer einfachen, schnellen und dennoch verlässlichen Methode vereinigt. Ihre Folgen für Forschung und Unterricht lernte Liebig jedoch erst allmählich und bei der Anwendung auf konkrete Problemstellungen kennen. Denn erstmals war es nun möglich, mit vertretbarem Aufwand und innerhalb kürzester Frist den Gehalt einer Probe an Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff mit großer Zuverlässigkeit zu bestimmen, ohne daß es dazu der langjährigen Übung und der kostbaren Arbeitskraft eines Experten bedurfte hätte.

Analysenergebnisse konnten nun nicht mehr das Ziel langwieriger hochqualifizierter Arbeit bilden, sondern lieferten bloß Daten, mit deren Hilfe man wissenschaftliche Fragen beantworten und den Forschungsprozeß insgesamt lenken

konnte. Analysendaten hatten für Liebig nicht an sich, sondern nur als Teil eines "chemischen Arguments" ihren Sinn. Sie waren für ihn die Buchstaben in der Sprache der Erscheinungen:

"Die letzte und höchste Aufgabe der Chemie ist die Erforschung der Ursachen der Veränderungen, der gemeinschaftlichen Faktoren in verschiedenen Reihen von Erscheinungen Um in dem mit unbekannten Chiffren geschriebenen Buche [der Natur] lesen zu können, um es zu verstehen, um den Zusammenhang der Erscheinungen erfassen zu können, um sie und die Kräfte, durch die sie hervorgebracht werden, unserm Willen unterthan zu machen, müssen wir zuerst das Alphabet kennen lernen, wir müssen uns mit dem Gebrauche dieser Zeichen bekannt machen und uns Gewandtheit und Uebung in ihrer Handhabung verschaffen. [Daher] ... muß der Chemiker als Naturforscher sich die vertrauteste Bekanntschaft mit der chemischen Analyse und seiner ihm eigenthümlichen Combinationslehre erworben haben, alle seine Schlüsse, seine Resultate drückt er durch Erscheinungen, durch Versuche aus; jeder Versuch ist ein in eine Erscheinung gebrachter Gedanke." (Liebig 1840, S. 23-24)

Mit dem neuen Verständnis vom Wesen und Stellenwert analytischer Daten waren die Voraussetzungen für komplexere Untersuchungsvorhaben geschaffen. Die benötigten Werte konnte Liebig sich nun mit Hilfe des neuen Apparats von Studenten und Hilfskräften erheben lassen. Dies war die zweite Phase der Einbeziehung von Studierenden in die Forschung.

Zwischen 1835 und 1837 fand dann der entscheidende Übergang von isolierten und delegierten Forschungsaufgaben zur eigentlichen Forschungsgruppe statt. Die Gründe sind vielfältig. Mit Regnault und Pelouze waren 1835 die ersten ausgewiesenen Gastwissenschaftler in das Gießener Institut gekommen. Erstmals stieg auch die Zahl der Chemiestudenten gegenüber der der Pharmazeuten. Doch zugleich war Liebig mit vielfältigen Verpflichtungen so stark belastet, daß er kaum noch zu eigener Laboratoriumsarbeit kam. Zu diesem Zeitpunkt entdeckte er, daß es genüge, wenn der Leiter eines Forschungsinstituts den generellen Arbeitsplan festlege, die Forschungstätigkeit selbst aber anderen überlässe.

Statt also einzelnen Mitarbeitern, ihren individuellen Neigungen entsprechend, isolierte Aufgaben zu stellen oder sie als Hilfskräfte für eigene Untersuchungen heranzuziehen, mobilisierte Liebig jetzt die Kräfte seiner besten Studenten, um mit ihrer kollektiven Hilfe ganze Forschungsfelder neu zu erschließen, die die Möglichkeiten eines Einzelnen weit überstiegen hätten. Liebigs eigene Rolle bestand darin, das Problem zu definieren, seine Erfahrung einzubringen, die Aufgaben unter den Bearbeitern zu verteilen und schließlich die Teillösungen zu einer Ge-

samtlösung des Forschungsproblems zusammenzuführen. Dies ist der eigentliche Beginn der universitären Forschungsgruppe und der forschungsorientierten Ausbildung. Den ersten eindrucksvollen Beweis ihrer Leistungsfähigkeit lieferte die neue Organisationsform mit einer großangelegten Arbeit über die fetten Körper, die Liebig von sechs fortgeschrittenen Studenten hatte durchführen lassen. Als die Ergebnisse vorlagen, sprach er von der "kolossalsten Arbeit, die jemals gemacht wurde," und fuhr fort: "Es ist gewiß ein Glück, solche Kräfte zu seiner Verfügung zu haben. Mit ihrer Hilfe lassen sich die kühnsten Entdeckungen fabrikmäßig machen" (Liebig an Wöhler, 1840 Jul 12, Bayerische Staatsbibliothek, Liebigiana).

Auf diese Weise bildete sich im Gießener Institut eine neue Form der Forschungspraxis heraus, die sich zunehmend arbeitsteilig organisierte, in der sich die Rollen von Arbeitsgruppenleiter, Assistent, Forschungsstudent und Labordiener differenzierten; einer Forschungspraxis, in der - um Max Webers Wort zu benutzen - die großbetriebliche Organisationsform der Universitätsinstitute ihren Ausgang nahm und die nicht zuletzt auf einen immer rascheren Ausstoß verwertbarer Daten und Ergebnisse zielte. Die Analysenapparatur besorgte das Feedback, sie wurde Kontroll- und Referenzinstrument bei der Produktion neuen chemischen Wissens. Von hier aus ließ sich Forschung organisieren, zentral kontrollieren, arbeitsteilig funktionalisieren und zur routinemäßigen Produktion von Daten verwenden. Darauf hinaus erlaubte die Methode, Forschung und Unterricht aufeinander zu beziehen und aus der Idee einer forschungsorientierten Ausbildung heraus neu zu organisieren. Genau hier liegt der Kern von Liebigs Reform, und in dieser Hinsicht darf sein Gießener Institut in der Tat als die Keimzelle aller modernen Forschungsinstitute gelten (Morrell 1972; Klosterman 1985).

Eine systematische Anleitung zur chemischen Forschung, die den Erfolg der Liebigschen Schule erklären könnte, liegt hier also nicht vor. Eigentlichen Unterricht im Laboratorium erhielten im Grunde nur die Anfänger, und zwar von Assistenten. Carl Remigius Fresenius' *Anleitung zur [qualitativen/quantitativen] chemischen Analyse* (Bonn 1841 bzw. 1845) und vor allem Heinrich Wills *Anleitung zur chemischen Analyse zum Gebrauche im chemischen Laboratorium zu Giessen* (Heidelberg 1846), die binnen eines Jahres auch auf Englisch, Französisch und Russisch erschien, haben dem Gießener Unterrichtsmodell, in eine didaktische Form gebracht, zu enormer Verbreitung verholfen. Ein Curriculum für die Fortgeschrittenen - jene oft genug beschworene "Schaar begeisterter Jünglinge, eben in die Wissenschaft eintretend und noch in dem Wahne befangen, dass man das Ziel im Sturm erreichen könne" (Hofmann 1890, S. 858) - existierte in Gießen jedoch nicht:

"Ein eigentlicher Unterricht im Laboratorium, den geübte Assistenten besorgten, bestand nur für die Anfänger; meine speziellen Schüler lernten nur

im Verhältniss, als sie mitbrachten, ich gab die Aufgaben und überwachte die Ausführung; wie die Räden eines Kreises hatten alle einen gemeinschaftlichen Mittelpunkt. Eine eigentliche Anleitung gab es nicht; ich empfing von jedem Einzelnen jeden Morgen einen Bericht über das, was er am vorhergehenden Tage gethan hatte sowie seine Ansichten über das, was er vorhatte; ich stimmte bei oder machte meine Einwendungen. Jeder war genötigt, seinen eigenen Weg selbst zu suchen. In dem Zusammenleben und steten Verkehr miteinander, und indem Jeder teilnahm an den Arbeiten Aller, lernte Jeder von dem Andern. Im Winter gab ich wöchentlich zwei Mal eine Art Uebersicht über die wichtigsten Fragen des Tages. Es war zum großen Theil ein Bericht über meine und ihre eigenen Arbeiten in Verbindung gebracht mit den Untersuchungen anderer Chemiker. Wir arbeiteten, wenn der Tag begann, bis zur sinkenden Nacht. Zerstreuungen und Vergnügungen gab es in Giessen nicht. Die einzigen Klagen, die sich stets wiederholten, waren die des Dieners (Aubel), welcher am Abend, wenn er reinigen sollte, die Arbeitenden nicht aus dem Laboratorium bringen konnte." (Liebig 1890, S. 827)

LEGITIMATIONEN

Enthusiasmus als pädagogisches Prinzip ist auf Dauer nicht durchzuhalten, geschweige denn zu institutionalisieren. Ebenso wenig lässt sich Forschung damit legitimieren. Hier bedurfte es in der Folge stärkerer Begründungen von höherer Verbindlichkeit, als die Gießener "Schaar begeisterter Jünglinge" sie benötigt hatte. So erinnerte Emil Erlenmeyer sich 1871 schon ein wenig melancholisch des einfachen Geheimnisses von Liebigs Erfolg.

"Es gibt nur wenige ... die es zugleich verstehen, die übersprudelnden Funken ihrer eigenen Geisteshäufigkeit auf ihre Schüler zu übertragen und dort zum lodern Feuer der Begeisterung für die Wissenschaft anzufachen. Der Meister der Giessener Werkstätte praktischer Thätigkeit hat diese Materialien in seiner Person vereinigt, und nur deshalb konnte sein Laboratorium zu einer Schule emporblühen. ... Der Einfluss der eminenten literarischen Leistungen jenes Meisters auf die Entwicklung der wissenschaftlichen Chemie kann als verschwindend klein bezeichnet werden gegen die Wirkung des Ueberschusses seiner geistigen Thätigkeit, durch welche er mit dem lebendigen Wort, ja manchmal nur mit einem zündenden Blick dem Geiste seiner Schüler lebendige Bewegung und wahrhaft wissenschaftliche Richtung gegeben hat." (Erlenmeyer 1871, S. 15)

Die Forschungsgruppe der experimentellen Naturwissenschaft, Lehrer und Studenten zusammengehalten von der Teilhabe aller am Erkenntnisprozeß, war Liebigs Antwort auf die Idee des Seminars gewesen. Als "Pflanzschulen der Wissenschaft" waren die ersten *Seminaria* in den historischen und philologischen Fächern des ausgehenden 18. Jahrhunderts entstanden, um Lehrer, dann aber auch den wissenschaftlichen Nachwuchs heranzubilden. Wilhelm von Humboldts Idee einer Universität, die sich vom Bildungsbegriff her bestimmt, wertete das Seminar auf zu der eigentlichen Organisationsform eines Studiums, bei dem der Geist an den Widerständen des Materials sich bildet. 1825 übernahm Bonn, 1828 Königsberg die Seminarform für die Naturwissenschaften. (Schubring 1989; Olesko 1991) Doch erst bei Liebig rückten das Experiment, das Kollektiv und der Primat der Forschung ins Zentrum, legitimiert und überhöht aber auch hier durch den Begriff der Bildung:

"Wie sonderbar, daß der Ausdruck *Bildung* bei einem wahrhaft erleuchteten Volke sich nur auf Kenntniß der classischen Sprachen, Geschichte und Literatur erstreckt! ..."

Als Mittel der Geistesbildung, als Naturforschung im eigentlichsten Sinne des Wortes, ist [die Chemie] nie in Betrachtung gezogen worden!" (Liebig 1840, S. 12-13)

Doch der Bildungsbegriff sollte seine integrierende Kraft bald verlieren, ließ er sich doch nur zu leicht benutzen, um Privilegien zu sichern und gesellschaftliche Realitäten zu verschleiern. Dies war vielleicht in keinem Fach so deutlich zu spüren wie in der Chemie, die aus ihrer Nähe zum ganz gewöhnlichen Geschäft des bürgerlichen Nutzens und ökonomischen Gewinns ja keinen Hehl machen konnte. Hier war mit Sonntagsreden nichts auszurichten, zu mächtig drängte eine rasch wachsende Gruppe von Chemikern darauf, ihr Wissen anzuwenden.

Weder vom Bildungsauftrag her, noch mit der Idee einer 'reinen', allein der Erkenntnis verpflichteten Wissenschaft, und schon gar nicht mit dem Argument einer zeitgemäßen Beamtenausbildung ließ sich daher eine stärkere Förderung der chemischen Forschung und die Einrichtung forschungsorientierter Studiengänge erlangen, solange das Kostenargument nicht entkräftet war. Zu diesem Zweck hatte jedoch schon Liebig, an die utilitaristische Tradition der Aufklärung anknüpfend, eine Argumentationsstrategie entwickelt, die den gesellschaftlichen und ökonomischen Nutzen gewissermaßen zur zwangsläufigen Folge der reinen - und nur der reinen! - Forschung erklärte. Wir könnten sie die "Spin off-These" nennen. Sie stand im Zentrum von Liebigs Propagandaschrift *Über das Studium der Naturwissenschaften und über den Zustand der Chemie in Preußen* von 1840 (Zott/Heuser 1992).

SCHULEN DER FORSCHUNG

Es ist das Verdienst Hermann Kolbes, das Liebigsche Programm gegen erhebliche Widerstände erstmals zu einem wirklichen didaktischen Konzept fortentwickelt zu haben (Meinel 1978, S. 48-140). In Marburg, wo Kolbe seit 1851 lehrte, waren erhebliche Widerstände zu überwinden. Denn auch hier war man der Auffassung, die Studiengänge der Universität sollten auf klar umrissene Berufsbilder hinführen, so wie die Pharmazie Apotheker, die Medizin Ärzte, Latein und Geschichte Lehrer ausbildeten; ein gesellschaftlicher oder gar staatlicher Bedarf an Chemikern aber existiere nicht und es könne daher nicht verlangt werden, daß der Staat ihre Ausbildung finanziere.

Die Ausbildung des Chemikers zu eng an die Bedürfnisse von Markt und Beruf zu binden, war für Kolbe jedoch Ausweis eines kurzsichtigen, rein administrativen Denkens. Denn der Sinn eines Chemiestudiums könnte nicht darin liegen,

"daß der ... Landwirth Dünger, der Techniker Soda oder Seife fabriciren, der Hüttenmann Erze ausbringen lerne; sie besteht vielmehr darin, daß dieselben ... chemische Fragen lösen und die dabei entstehenden Schwierigkeiten überwinden, daß sie chemisch denken lernen." (Kolbe 1865, S. 25-26)

Die Universität müsse sich deshalb zur Akademie, nicht zur polytechnischen Schule hin entwickeln, "Pflanzschule der Wissenschaft" sein und nicht "Staatsdiener-Zurichtungsanstalt" (Kolbe 1872, S. xliv). Was uneigennützig in die chemische Forschung investiert werde, zahle diese dem Staat überreich wieder zurück, und es liege daher "durchaus im Interesse des Staates selbst, das Studium gerade der Wissenschaft zu erleichtern und zu unterstützen, welche mehr wie jede andere stets neue Quellen des materiellen Wohlstandes erschließt" (Kolbe 1865, S. 16).

"Man hört nicht selten die Äußerung, die Universität habe von den Instituten, welche schöne Sammlungen anlegen und unterhalten, mehr Nutzen als vom Chemischen Laboratorium, wo "das Geld zum Schornstein hinausgejagt werde" (sic) und nichts übrig bleibe, was dauernden Werth habe. Als ob die Institute darum von der Regierung unterhalten würden, damit die schönen Sammlungen schaffen und durch sie das Auge erfreuen! Die Sammlungen sind für den Mineralogen, Zoologen, Botaniker, Anatomen, ff., ebenso Mittel zum Zweck, d.h. zur wissenschaftlichen Ausbildung der Studierenden, wie Schwefelsäure, Soda, Spiritus, etc. für den Chemiker, welche Dinge freilich verbraucht werden und kein dem Auge wohlgefälliges Product hinterlassen. Jedes Pfund Schwefelsäure, jedes Maß Spiritus, welches der Chemie studierende Mediziner, Landwirth oder Techniker in dem Universitäts-Laboratorium verbraucht, trägt seine Früchte, dient zur

Erweiterung seiner Kenntnisse und bereichert ihn mit Erfahrungen, deren spätere Anwendung dem Staat wieder hundertfältig zugute kommt." (Kolbe 1863, zit. n. Meinel 1978, S. 85)

Voraussetzung einer wirksamen Förderung und dauerhaften Institutionalisierung der Chemie waren für Kolbe hervorragend ausgestattete Universitätslaboratorien und systematische, methodisch durchorganisierte Studiengänge, die auf breite Forschungsbefähigung und praktische Kompetenz zielten. Was in Liebigs Labor Enthusiasmus und Korpsgeist waren, mußte jetzt durch Methode ersetzt werden. Denn für eine kleine Zahl Hochbegabter sei es,

"von geringerer Bedeutung, ob sie mehr oder weniger guten Unterricht genießen; bei der Mehrzahl jedoch ist gerade die Methode des Unterrichts von erheblichem Einfluß auf den Grad sowohl der Fortschritte und des Eifers wie auch der Zeit, welche sie für ihre Studien verwenden." (Kolbe 1865, S. 19)

Es ist daher durchaus angemessen, in Kolbe den ersten Theoretiker und Praktiker einer modernen, forschungsorientierten Hochschuldidaktik der Chemie zu schen. Seine Grundkonzeption entstand und bestand ihre Feuerprobe in der Auseinandersetzung mit Kollegen, der Marburger Universitätsadministration und dem Ministerium in Kassel. Entfaltet und bewährt hat sich Kolbes didaktisches Konzept dann in Leipzig, wo er 1868 das erste wirklich moderne chemische Unterrichtslaboratorium und das größte und modernste Chemische Institut seiner Zeit dazu erhielt. Erläutert hat Kolbe seine Methode in zwei Bänden, die die Forschungsresultate des Marburger und des Leipziger Instituts vorstellen. (Kolbe 1865 und 1872) Es ist der Mühe wert, den 1863 eingeführten Studiengang genauer zu betrachten:

- Nach der Vorlesung über anorganische Experimentalchemie besuchten die Anfänger im ersten Semester - neben den Vorlesungen der Nebenfächer Physik, Mathematik, Mineralogie oder Geologie - ein qualitativ-chemisches Praktikum von 8 Wochenstunden, das meist bis in die Hälfte des zweiten Semesters dauerte. Gelehrt wurde die Analytik der Metalle, der anorganischen Säuren und ihrer Salze, anschließend Trennungsgänge für Stoffgemische und zum Schluß die Analyse seltenerer Verbindungen wie der des Wolframs, Molybdäns und Lithiums, der Fluoride, Pechblendemineralien und Eisencyanoverbindungen. Insgesamt waren mindestens 110 Einzelanalysen auszuführen. Der Gebrauch gedruckter Leitfäden oder schematisierter Trennungsgänge war dabei verpönt; an ihre Stelle hatte ein sorgfältig geführtes Laborjournal zu treten.
- In der Mitte des zweiten Semesters folgte dann das quantitativ-analytische Praktikum, in dem Gravimetrie und Maßanalyse vermittelt wurden.
- In der Hälfte des dritten Semesters folgte die Darstellung von Präparaten, zu-

nehmend aus dem Gebiet der organischen Chemie, und eine gründliche Ausbildung in organischer Elementaranalyse. Den Abschluß bildete die Nacharbeitung einer größeren Untersuchung aus der Literatur.

- In Anschluß, gegen Ende des vierten Semesters, konnten die Fortgeschrittenen dann mit selbständigen Arbeiten beginnen. Hierfür stand ihnen das Laboratorium ganztägig zur Verfügung. Dabei legte Kolbe Wert darauf, daß sich die vergebenen Dissertationsthemen in ein gemeinsames Forschungsprogramm einfügten.

Kolbes Studienplan steht in der Nachfolge des Liebigschen Konzepts eines forschungsorientierten Lernens, gibt diesem aber erstmals eine klare didaktische Form, die er methodisch, pädagogisch und wissenschaftspolitisch begründete. Seine Grundkonzeption ist bis in die 1890er Jahre bewahrt und von allen namhaften Fachvertretern, die sich in der Folge mit den Aufgaben des Chemiestudiums befaßt haben, bestätigt worden (Erdmann 1861; Buff 1868; Fittig 1870; Wolfram 1903; Krische 1904). Emil Erlenmeyer dürfte die herrschende Auffassung durchaus korrekt wiedergegeben haben, als er 1871 feststellte:

"Das Ziel des chemischen Unterrichts kann, um es mit einem Worte auszudrücken, kein anderes sein, als die Studierenden zu Forschern und Entdeckern im Gebiete der wissenschaftlichen und technischen Chemie auszubilden." (Erlenmeyer 1871, S. 16)

GIESSEN IN LONDON?

In Institutionen, Methoden und Inhalten einer Wissenschaft drücken sich Strukturen, Normen und Werte einer Gesellschaft in sehr spezifischer Weise aus. Wissenschaften und ihre Organisationsformen lassen sich daher nicht ohne weiteres von einer Kultur in die andere transferieren, so wie man Waren verfrachtet. Vielmehr verändern sie sich dabei entsprechend den Bedürfnissen und Verhältnissen in der neuen Umgebung.

Das bekannteste und erfolgreichste ausländische Forschungsinstitut, das die Liebigsche Idee aufgriff, war das Royal College of Chemistry in London (Roberts 1992). Geltung und Professionalisierung der Chemie waren im industrialisierten Großbritannien viel weiter fortgeschritten als auf dem Kontinent. Noch aber fehlte eine zeitgemäße Ausbildungsstätte. Da traten zwei Liebigschüler mit dem Vorschlag an die Öffentlichkeit, eine private chemische Forschungs- und Lehranstalt nach Gießener Muster zu gründen. Unterstützung fanden sie bei Grundbesitzern, die an die Verbesserung von Landwirtschaft, Kohle- und Erzbergbau dachten, aber auch bei Drogisten und Fabrikanten. Bald war ein Stamm von Subskribenten beisammen und die Unterstützung der Krone gewonnen. Daß für die Leitung der An-

stalt nur ein Liebigschüler infrage kam, verstand sich von selbst. So erhielt der junge Bonner Privatdozent August Wilhelm Hofmann 1845 den Ruf, die Leitung des College zu übernehmen.

Doch in den Anwendungskontext britischer Wissenschaft übertragen und von einer - wenngleich bescheidenen - staatlichen Wissenschaftsförderung auf ein privatwirtschaftliches Subskriptionsmodell umgestellt, wandelte sich der Charakter der Einrichtung. Denn anders als das Gießener Vorbild war das College zugleich als Untersuchungsamt ausgelegt, das den privaten Geldgebern Gutachten und Analysen zu liefern hatte und dessen Arbeit sich in klingender Münze auszahlen sollte. Für den Primat der reinen, um der Erkenntnis willen betriebenen Wissenschaft war unter diesen Bedingungen kein Platz. Spannungen zwischen den Erwartungen der Subskribenten, den Bedürfnissen der Studierenden und den wissenschaftlichen Ambitionen Hofmanns waren die Folge.

Auf dem Papier unterschied sich der Studiengang nur wenig von dem, was Liebigs Assistenten in Gießen praktiziert hatten und was Kolbe später in größerem Maßstab entwickeln sollte. Das Lehrprogramm war dreistufig aufgebaut. Die Vorbereitung bildete ein faktenorientierter Vorlesungskursus in anorganische und organische Chemie, dann folgte ein Jahr praktischen Unterrichts im Laboratorium. Dieser begann mit den Eigenschaften, der Darstellung und den Reaktionen wichtiger Stoffe. Im Anschluß war ein Kursus in qualitativer, schließlich die Ausbildung in quantitativer anorganischer Analyse vorgesehen. Im zweiten Jahr stand die Darstellung organischer Präparate und die organische Elementaranalyse auf dem Programm. Im dritten Jahr schließlich sollten sich daran eigene Forschungsarbeiten anschließen.

In der Praxis aber hat wohl kaum ein Student diesen Ausbildungsgang so durchlaufen. Vielmehr bestand die Attraktivität des Royal College of Chemistry gerade darin, daß man Ausmaß und Intensität seiner Studien individuell bestimmen und auf jeder beliebigen Stufe ein- oder aussteigen konnte. Die Verweildauer bestimmte zudem die zu entrichtenden Gebühren. In der Tat blieb die Hälfte aller Studierenden nicht länger als bis zu sechs Monaten, und häufig nur, um eine bestimmte analytische Technik zu erlernen oder eine bestimmte Untersuchung durchzuführen, die sie für ihren speziellen beruflichen Zweck brauchten.

Auch wenn Hofmanns Vision einer engen Allianz von 'reiner' Hochschulforschung und industrieller Umsetzung und Aufgabenstellung sich in London nicht verwirklichen ließ, legte er hier doch den Grund für ein Forschungsprogramm, das dann in Berlin seinen adäquaten institutionellen Rahmen finden sollte. Im Zentrum stand der Begriff der Synthese. Denn mit Wöhlers Harnstoffsynthese und den Arbeiten von Frankland und Kolbe sah Hofmann eine neue "Ära der synthetischen Chemic"

(Hofmann 1890, S. 50) heraufziehen, in der die gezielte Synthese jeder gewünschten organischen Verbindung in greifbare Nähe gerückt schien. Hofmann dachte in Stoffklassen, die es systematisch und erschöpfend zu erschließen galt, nachdem Pilotstudien einen präparativen Zugang eröffnet hatten. Die Formelschreibweise der Typentheorie versetzte ihn dabei erstmals in die Lage, nicht nur bekannte Verbindungen zu klassifizieren, sondern noch unbekannte, aber theoretisch mögliche Verbindungen vorherzusagen. Ausweitung, Verzweigung, Diversifikation waren Schlüsselbegriffe seines Denkens, Analogie sein heuristisches Leitprinzip. Es sollte sich auf dem Gebiet der organischen Stickstoffverbindungen glänzend bewähren.

Hofmann hatte beizeiten erkannt, daß ein solches Forschungsprogramm in England kaum durchführbar gewesen wäre. Da bot sich die Chance, nach Preußen zurückzukehren. 1863 erhielt Hofmann den Ruf, zunächst nach Bonn, kurz darauf nach Berlin.

WERKSTÄTTE DER ZUKUNFT

Das Deutschland, in das Hofmann kam, war im Aufbruch befindlich. Binnen weniger Jahre sollte es einen Modernisierungsschub erleben, der ohne Beispiel in der Geschichte war. Die Zeit der Fabriken und der Maschinen zog herauf. In der chemischen Industrie erreichte die Gründerweile ihren Höhepunkt. Gebannt blickte Europa auf den rasanten Aufstieg eines Industriezweiges, der binnen kurzem den Weltmarkt beherrschen sollte.

Auch die Hochschulen hatten Teil am Aufschwung. Die Humboldtsche Formel von Einsamkeit und Freiheit wich einem neuen Selbstbewußtsein von Wissenschaft, die gestaltend in die Welt hinein wirken wollte. Die Chemie übernahm hierbei die Führungsrolle. Eine neue Generation hervorragend ausgestatteter Forschungslabore war im Entstehen. Das Institut in der Berliner Dorotheenstraße setzte Maßstäbe der Modernität. Mit drei Arbeitssälen für Anfänger und Fortgeschrittene, Spektroskopie- und Photometrieräumen, Spül-, Wäge- und Titierzimmer, metallurgischem und forensischem Labor, verschiedenen Werkstätten sowie einem Privatlaboratorium für den Direktor bot es Hofmann alle Voraussetzungen, um sein auf Synthese gegründetes Forschungs- und Ausbildungsprogramm auf breiter Front voranzutreiben (Müller 1979).

Mehr als 200 Doktorarbeiten hat Hofmann in Berlin vergeben, noch einmal so viele dürften seine Assistenten betreut haben. 899 wissenschaftliche Arbeiten mit dem Serientitel "Aus dem Berliner Universitäts-Laboratorium", 150 davon von Hofmann selbst, bezeugen die neue Dimension der Produktion von Erkenntnis. In dieser Weise hatte vor Hofmann noch niemand Chemie betrieben. Grundsätze der industriellen Forschung, der Entfaltung und Variation ganzer Produktpaletten sind

hier vorweggenommen. Das Syntheseprogramm folgt im Labormaßstab industrieller Praxis. Kein Wunder, daß Hofmann sein Institut mit einer ungeheueren Maschine verglich und sich in der Lage eines Industriellen sah, dem ihre Produktivität zu Gebote steht. Doch statt Liebigs genialem Prinzip, die Forschungspraxis um eine instrumentelle Methode, die Elementaranalytik, herum zu organisieren, verwandelte Hofmann sein Laboratorium in eine gigantische Maschinerie zur planmäßigen Synthese neuer Verbindungen.

Hofmanns Ausbildungsprogramm reagierte damit auch auf die anderenorts praktiziere Überbetonung der Analyse als wichtigstem, ja einzigm Unterrichtsmittel. Bei Bunsen in Heidelberg etwa standen 6-10 Tage dauernde Leuchtgasanalysen und 6 Wochen dauernde Silikatanalysen im Zentrum des chemischen Praktikums. Doch schon Kolbe hielt eine "zu lange fortgesetzte Beschäftigung mit der chemischen Analyse ... für überflüssig und geradezu für nachtheilig, weil insbesondere die quantitative Analyse dem Geiste zu wenig Nahrung gibt und leicht ermüdet" (Kolbe 1865, S. 21), und Erlenmeyer hatte gar befürchtet, der Praktikant werde auf diese Weise "selbst zum Automaten, das Schema [sei] die Maschine, welche ihn in Bewegung setzte und seine Handlungen dictirte" (Erlenmeyer 1871, S. 13). Ist es zu kühn, die Wendung, die die praktische Ausbildung der Chemiker hier nahm, als Antwort auf die neuen Herausforderungen der Gründerzeit zu sehen?

DIE EINHEIT VON FORSCHUNG UND LEHRE IN DER KRISE

In quantitativer Hinsicht war Berlin nur der Anfang gewesen. Die Chemischen Institute in Leipzig, Straßburg und München überboten einander, um schließlich in dem 1900 für Emil Fischer in Berlin gebauten Institut in der Hessischen Straße zu gipfeln: mit 250 Arbeitsplätzen damals das größte naturwissenschaftliche Forschungsinstitut der Welt. Damit war eine kritische Grenze erreicht. Seit der Reichsgründung hatte die Zahl der Studierenden doppelt so rasch zugenommen wie die Gesamtbevölkerung. Besonders dramatisch sah es in den Naturwissenschaften aus: Bis 1911 war hier die Zahl der Studenten von 987 auf 7286, also um 638%, gestiegen, während sich die Zahl der Ordinarien bloß um 56% auf 241, die der Extraordinarien um 133% und die der Privatdozenten um 250% erhöht hatte.

Die vielbeschworene Einheit von Forschung und Lehre blieb hinter der gesellschaftlichen Realität und einer sich rasch diversifizierenden Hochschulstruktur zurück. Die großbetriebliche Organisation der Laboratorien mit strengen Hierarchien und einer bewußt in Kauf genommenen Ausbeutung der Nichtordinarien hatte die kollegiale Universitätsverfassung längst pervertiert. Die Idee einer forschungsorientierten wissenschaftlichen Ausbildung ließ sich im Zeichen der heraufkom-

menden Massenuniversität nicht aufrechterhalten. Grund- und Forschungsstudium lösten sich immer weiter voneinander, wobei ersteres an Assistenten delegiert, entindividualisiert und verschult, letzteres gelegentlich in Form regelrechter Doktorfabriken organisiert wurde - eine Erscheinung, die verschiedentlich angeprangert worden war und sogar zu Anfragen im Reichstag geführt hatte. Von einheitlichen Studiengängen konnte dabei kaum die Rede sein. Denn solange die Promotion den einzigen möglichen Studienabschluß eines Chemikers darstellte, hingen die Schwerpunkte seiner Ausbildung stark von der Arbeitsrichtung des jeweiligen Institutsleiters ab. Doch selbst was die Anforderungen anging, unterschieden sich die Universitäten erheblich. Noch 1889 konnte man in Heidelberg in Chemie promovieren, ohne jemals eine eigenständige Untersuchung durchgeführt zu haben.

Seit langem war Kritik an diesen Verhältnissen geübt worden. Nicht zuletzt die Industrie hatte Interesse, daß die Chemiker von unterschiedlichen Hochschulen vergleichbare Qualifikationen mitbrachten. Häufig beklagte man das Übergewicht der organischen Chemie und die Vernachlässigung praktisch-analytischer Fähigkeiten. Ein offener Brief, den der Herausgeber der *Chemiker-Zeitung* 1889 an Bismarck richtete, führte schließlich zur Forderung nach einer staatlichen Prüfung für Chemiker (Burchardt 1978; Scholz 1989). Die Universitäten witterten natürlich sogleich einen Eingriff in ihre Autonomie, die Professoren, unter der Wortführung Wilhelm Ostwalds, eine Beschneidung ihrer Rechte. Zustande kam schließlich 1897 nicht mehr als ein Kompromiß: ein freiwilliges Examen nach den Richtlinien des *Verbandes der Laboratoriumsvorstände an deutschen Hochschulen*, das als notwendige Voraussetzung für den Beginn einer Doktorarbeit gelten sollte. Das "Verbandsexamen" bedeutete jedoch keinen Studienabschluß im Sinne unseres Diploms.

Als Folge von Massenuniversität, Differenzierung, Spezialisierung und Arbeitsteilung, als Folge aber auch des legitimen öffentlichen Anspruchs auf ein standardisiertes Ausbildungsprofil erlebte das deutsche Hochschulsystem um die Jahrhundertwende den größten Strukturwandel seit 1810. An den Universitäten trat die Ausbildungsfunktion stärker hervor, zugleich verlagerten sich Forschungsschwerpunkte aus den Universitäten heraus. Die Gründung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg (1887), die von Emil Fischer betriebene Schaffung reiner Forschungsprofessuren (erstmals 1896 für van't Hoff) und der von Fischer und dem Nernst-Schüler Emil Böse vorgelegte Plan einer Chemischen Reichsanstalt (1899/1900), der zur Gründung des ersten Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie (1911) führte, sind die Meilensteine auf diesem Weg.

ZUSAMMENFASSUNG

Populäre Darstellungen lassen den Aufstieg des chemischen Forschungslaboratoriums und die Herausbildung des an der Forschung orientierten Ausbildungskonzeptes als einen folgerichtigen Prozeß erscheinen, der seine Ursache in Wesen und Gegenstand der Chemie selbst hat und nur mehr des Forschungsimperativs der neuhumanistischen Universität bedurfte, um durch Liebig seine neue didaktische Form zu erlangen, die dann ihren raschen Siegeszug antrat und bis heute Bestand hat. Ich habe zu zeigen versucht, daß dieser Prozeß keineswegs geradlinig und keineswegs selbstverständlich gewesen ist. Denn wo Menschen unter konkreten historischen Bedingungen handeln, hat ihr Handeln Motive und Gründe, bewährt sich oder scheitert an Aufgaben, da im Historischen sich nichts von selbst versteht.

Auch wenn dabei gelegentlich Parallelen zur Gegenwart aufscheinen, so ist es doch gerade die Pflicht des Historikers, vor falschen Aktualisierungen zu warnen. Denn die Geschichte macht das Verbindende ebenso deutlich wie das Trennende. Die Epoche, von der hier die Rede war, gehört der Vergangenheit an. Ihre Problemlösungen taugen nicht für die Wissenschaftspolitik und Hochschuldidaktik unserer Tage, so oft der Geist jener vermeintlich besseren Zeiten in Sonntagsreden auch beschworen wird. Und doch reicht diese Vergangenheit noch in unsere Gegenwart hinein, und zwar gerade durch Konflikte und Problemkonstellationen, die damals und unter anderen Verhältnissen nicht gelöst werden brauchten und deshalb heute um so dringender nach Lösungen rufen.

LITERATUR

- BUFF, Heinrich L.: Ueber das Studium der Chemie (Berlin 1868)
- BURCHARDT, Lothar: "Die Ausbildung des Chemikers im Kaiserreich," Zeitschrift für Unternehmensgeschichte 23,1 (1978), 31-53
- ERDMANN, Otto Linné: Ueber das Studium der Chemie (Leipzig 1861)
- ERLENMEYER, Emil: Die Aufgabe des chemischen Unterrichts gegenüber den Anforderungen der Wissenschaft und Technik (München 1871)
- FARRAR, W.V.: "Science and the German university system, 1790-1850," in: Maurice Crosland (Hrsg.): The Emergence of Science in Western Europe (London 1975), S. 179-192
- FITTIG, Rudolph: Das Wesen und die Ziele der chemischen Forschung und des chemischen Studiums (Leipzig 1870)
- FRUTON, Joseph S.: Contrasts in Scientific Style: Research Groups in the Chemical and Biochemical Sciences (Philadelphia 1990)

- HALASIK, Anna M.: Der Chemieunterricht während des 19. Jahrhunderts im Rheinland, Beiträge zur Erziehungswissenschaft. Bd. 2 (Bonn 1988)
- HOFMANN, A.W. von: "Die Ergebnisse der Naturforschung seit Begründung der Gesellschaft," Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte, 63. Versammlung zu Bremen 1890 (Leipzig 1890), S. 1-55
- HOFMANN, A.W. von: "Heinrich Will: Ein Gedenkblatt," Berichte der deutschen Chemischen Gesellschaft 23 R (1890), 852-899
- HOLMES, Frederic L.: "The complementarity of teaching and research in Liebig's laboratory," Osiris 5 (1989), 121-164
- JUNGNICKEL, Christa und Russell McCormmach: Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein (Chicago 1985)
- JUST, Norbert: Geschichte und Wissenschaftsstruktur der Chemiedidaktik: Interaktion zwischen allgemeiner Didaktik und Fachdidaktik - dargestellt an der historischen Entwicklung der Fachdidaktik Chemie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, Naturwissenschaft und Unterricht, Bd. 1 (Essen 1989)
- KLOSTERMAN, Leo J.: "A research school in chemistry in the nineteenth century: Jean Baptiste Dumas and his research students," Annals of Science 42 (1985), 1-80
- KOLBE, Hermann: Das Chemische Laboratorium der Universität Leipzig und die seit 1866 darin ausgeführten chemischen Untersuchungen (Braunschweig 1872)
- KOLBE, Hermann: Das Chemische Laboratorium der Universität Marburg und die seit 1859 darin ausgeführten chemischen Untersuchungen, nebst Ansichten und Erfahrungen über die Methode des chemischen Unterrichts (Braunschweig 1865)
- KRÄTZ, Otto Paul und Claus Priesner (Hrsg.): Liebigs Experimentalvorlesung: Vorlesungsbuch und Kekulés Mischscript (Weinheim 1983)
- KRISCHE, Paul: Wie studiert man Chemie? Violets Studienführer (Stuttgart 1904)
- LIEBIG, Justus: "Nachricht das chemisch-pharmaceutische Institut zu Giessen betreffend," Magazin für Pharmacie 20 (1827), 98-99
- LIEBIG, Justus: Ueber das Studium der Naturwissenschaften und über den Zustand der Chemie in Preußen (Braunschweig 1840)
- LIEBIG, Justus von: "Eigenhändige biographische Aufzeichnungen," Berichte der deutschen Chemischen Gesellschaft 23 R (1890), 817-828
- LOCKEMANN, Georg: "Der chemische Unterricht an den deutschen Universitäten im ersten Viertel des 19. Jahrhunderts," in: Julius Ruska (Hrsg.): Studien zur Geschichte der Chemie: Festgabe E. O. von Lippmann (Berlin 1927), S. 148-158
- LUDWIG, Carl: "Festrede," Tageblatt der 45. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Leipzig, Nr. 3 (1872 Aug 14), 33-37
- MEINEL, Christoph: Die Chemie an der Universität Marburg seit Beginn des 19. Jahrhunderts: Ein Beitrag zur ihrer Entwicklung als Hochschulfach, Academia Marburgensis, Bd. 3 (Marburg 1978)
- MEINEL, Christoph und Hartmut Scholz (Hrsg.): Die Allianz Von Wissenschaft Und Industrie: August Wilhelm Hofmann, 1818-1892 (Weinheim 1992)
- MORRELL, Jack B.: "The chemist breeders: The research schools of Liebig and Thomas Thomson," Ambix 19 (1972), 1-46

- MÜLLER, Monika: "Die Lehrtätigkeit des Chemikers August Wilhelm von Hofmann im Zusammenhang mit seinen Leistungen als Forscher und Wissenschaftsorganisator," Dissertation A, Humboldt-Universität (Berlin 1979)
- OLESKO, Kathryn M.: Physics as a Calling: Discipline and Practice in the Königsberg Seminar for Physics (Ithaca 1991)
- ROBERTS, Gerrylynn K.: "Bridging the gap between science and practice: The English years of August Wilhelm Hofmann, 1845-1865," in: Meinel/Scholz, 1992, S. 89-99
- SCHOLZ, Hartmut: "Zu einigen Wechselbeziehungen zwischen chemischer Wissenschaft, chemischer Industrie und staatlicher Administration," Dissertation B, Humboldt-Universität (Berlin 1989)
- SCHUBRING, Gert: "The rise and decline of the Bonn Natural Sciences Seminar," Osiris 5 (1989), 57-93
- STICHWEH, Rudolf: Zur Entstehung des modernen Systems wissenschaftlicher Disziplinen: Physik in Deutschland, 1740-1890 (Frankfurt am Main 1984)
- WOLFRAM, A.: Die Grundzüge der chemischen Didaktik: Eine Studie über das Studium der Chemie und den Laboratoriumsunterricht (Leipzig 1903)
- ZOTT, Regine und Emil Heuser (Hrsg.): Die streitbaren Gelehrten: Justus Liebig und die preußischen Universitäten, Berliner Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, Bd. 15 (Berlin 1992)