

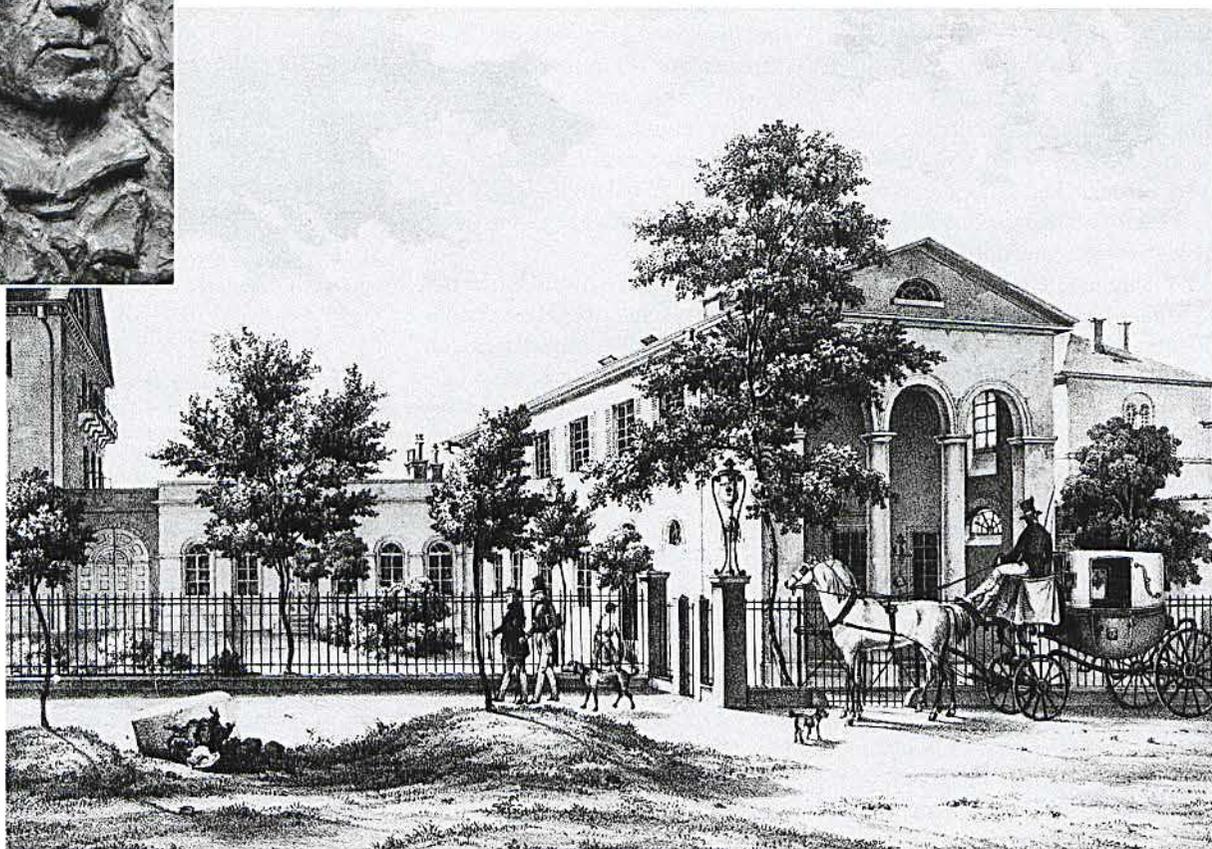
Tempel der Zukunft

Die Karriere des chemischen Laboratoriums im 19. Jahrhundert



(oben)
Justus von
Liebig.
Bronzerelief der
Gießener Künstlerin
Heide Theiß.

(rechts)
Das Wachhaus
einer ehemaligen
Kaserne diente
Justus Liebig als
Labor und beher-
bergt heute das
Liebig-Museum.



Den enormen Aufschwung, den Wissenschaft und Industrie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Deutschland nahmen, hat man im Ausland mit einer Mischung aus Bewunderung und Schauer registriert. Spätestens nach dem Sieg über Frankreich bei Sedan (1870) war vielfach zu hören, die preußischen Siege seien nicht im Felde entschieden worden, sondern in den deutschen Schulen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen. In England suchte eine Kommission unter Leitung von Lord Devonshire, in Frankreich Adolphe Wurtz, in Italien Giorgio Roster, beide Chemiker, im Auftrag ihrer Regierungen in ausführlichen Berichten das Erfolgsgeheimnis der deutschen Laboratorien zu lüften. Und angesichts des Stellenwertes von Chemie und chemischer Industrie nimmt es nicht wunder, daß die Aufmerksamkeit der Berichterstatter vor allem den chemischen Laboratorien und ihrer baulichen wie apparativen Ausstattung galt.

Christoph Meinel

Zwei Männer – ein Chemiker und ein Physiologe – seien es gewesen, stellte der Leipziger Physiologe Carl Ludwig 1872 bei der Eröffnung der 45. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Leipzig fest, denen man all dies verdanke: Justus von Liebig und Johannes Müller. Diese hätten als erste das neue, forschungsorientierte Ausbildungskonzept und damit das Laboratorium in den Hochschulunterricht eingeführt.

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 waren Fächer neuen Typs in die traditionelle Gelehrteninstitution Universi-

Der Artikel geht zurück auf einen Vortrag, den der Autor aus Anlaß von Liebig's 125. Todestag im Liebig-Museum in Gießen hielt. Justus Liebig starb am 18. April 1873 in München.

tät eingezogen. In Verbindung mit der Idee der Forschung und einer neuen Art und Weise, die wissenschaftliche Arbeit zu organisieren, entstand hier ein Impuls, der zur Neuordnung der Hochschullandschaft in Deutschland und weit darüber hinaus führen sollte.

Die groben Konturen dieses Prozesses sind bekannt. Für die Chemie ist die Entwicklung bis in die Zeit um 1800 recht gut untersucht, für die daran anschließende Zeit liegen Studien zu einzelnen Laboratorien oder Fachrichtungen vor. Dabei erscheint der Aufstieg des chemischen Forschungslaboratoriums oft als ein folgerichtiger Prozeß, dessen Gründe gewissermaßen in der Natur der Chemie als einer empirischen Wissenschaft liegen. Dabei ist die Rolle des Laboratoriums und des Experimentalunterrichts häufig nur in quantitativer Hinsicht bedacht worden, als sei die Veränderung des didaktischen Konzepts im wesentlichen eine Funktion der Zahl von

Laboratorien, in denen Chemiestudenten eigene praktische Erfahrung sammeln konnten. In der Tat ist die Organisation des chemischen Unterrichts bisher nur selten Gegenstand historischer Untersuchungen gewesen. Lediglich zum Schul-Chemieunterricht und zur Chemikerausbildung an den Gewerbeschulen liegen neuere Studien vor.

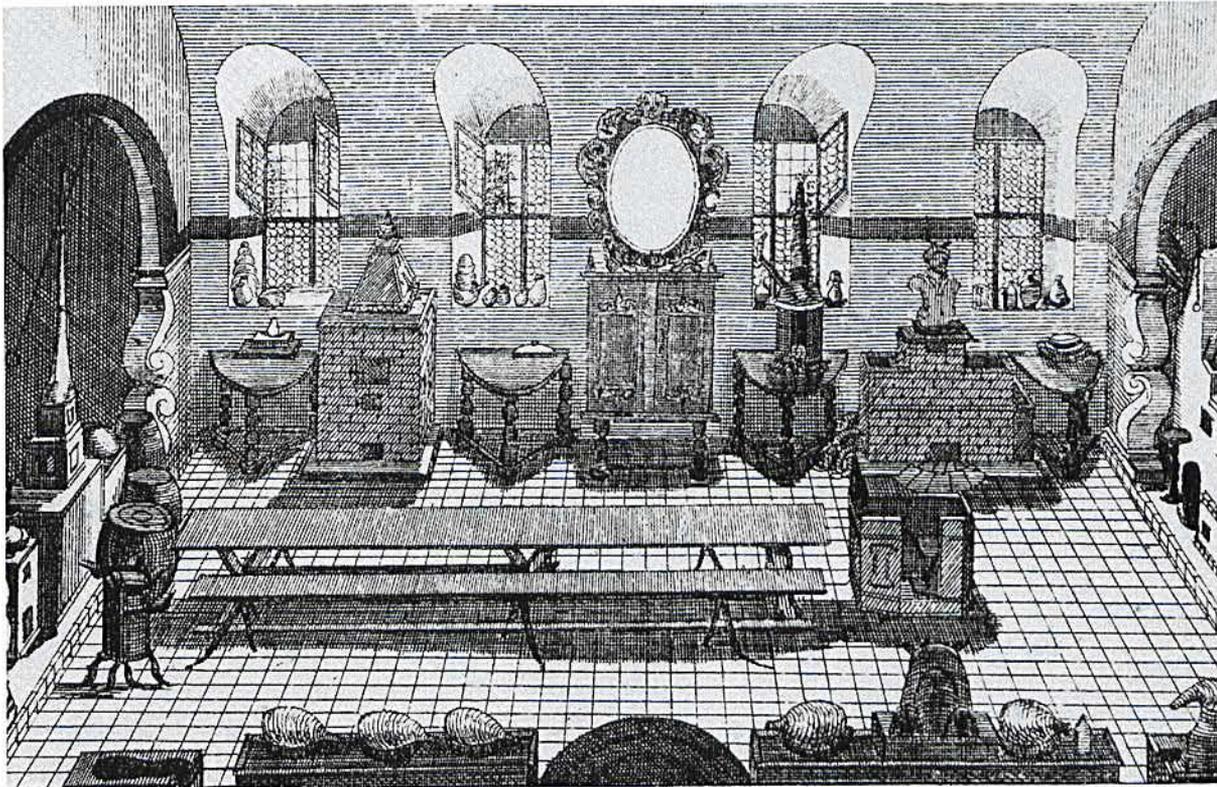
In diesem Beitrag geht es darum, die vom chemischen Laboratorium ausgelösten Veränderungen in der Chemikerausbildung in ihren wichtigsten Etappen zu charakterisieren. Im Zentrum steht die Frage nach den Funktionszusammenhängen zwischen Laboratorien, Ausbildung und Organisation der Forschungsarbeit.

Schulen der Praxis

Bis ins 18. Jahrhundert verstand sich die Universität als eine Einrichtung der Lehre. Es war ihre Aufgabe, gesichertes Wissen weiterzugeben, nicht aber, neues Wissen zu schaffen. Letzteres war Sache der

Akademien und wissenschaftlichen Gesellschaften oder blieb ins private Belieben eines jeden 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 die Arzneibereitung beschränkt. Hier leuchtete ihr praktischer Nutzen zum Vorteil des Staates unmittelbar ein. War die erstmalige Schaffung einer Professur für Chemiatrie im Jahre 1609 in Marburg noch ein recht ungewöhnlicher Akt fürstlicher Wissenschaftspolitik gewesen, so gab es schon um die Mitte des 18. Jahrhunderts kaum mehr eine europäische Universität, an der die Chemie nicht wenigstens nominell zu den Unterrichtsfächern zählte.

Für Generationen gab hierbei der chemische Lehrkurs das Vorbild ab,



Das chemische Laboratorium der Universität Altdorf: Dem deutschen Chemiestudenten des 17. Jahrhunderts bot sich kaum die Möglichkeit, Experimental-Vorträge oder gar Praktika zu belegen. Eine Ausnahme bildete das Laboratorium der Universität Altdorf, das der Botaniker Moritz Hoffmann 1682 einrichten ließ. Der große Raum enthielt an den Schmalseiten Destillieröfen, die unter Abzugsschächten eingebaut waren,

und war mit einer Anzahl weiterer Öfen und Glasgerätschaften üppig eingerichtet. Tisch, Bänke und Lehrkanzel ermöglichten seine Benutzung als Hörsaal. Vermutlich war das Labor mehr Prunkobjekt als Arbeitsstätte. Zur Erinnerung an Altdorf klebte der Studiosus chemiae et pharmaciae Johann Friedrich Hasenest aus Windsheim das Blatt in der Mitte des 18. Jahrhunderts in sein Stammbuch.



Blick in Liebig's Analytisches Labor um 1840 nach der Zeichnung von Trautschold und von Ritgen. Eine Reihe später berühmter Chemiker sind abgebildet, darunter rechts außen der Meisterschüler August Wilhelm Hoffmann, der die Teerfarbensynthese entwickelte.

den Hermann Boerhaave 1718 in Leiden eingerichtet hatte. Das daraus erwachsene Lehrbuch, seit 1724 in vielen Auflagen und Übersetzungen verbreitet, bietet eine chemische 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. Typischerweise beginnen sie mit einem „Man nehme ...“ (*sumatur*) und laufen letztlich auf eine Lehre von den Rezepturen und den dazu benötigten Vorgehensweisen hinaus. Das Modell für diesen Darstellungstyp war die Pharmakopöe, das Arzneibuch des Apothekers. Es enthielt Vorschriften zur Darstellung von Präparaten, und befolgte man diese, so erhielt man das gewünschte Produkt in einer durch Herstellungsanweisungen standardisierten Qualität.

In Vortrag und Lehrbuch allein ist Handlungswissen nicht zu vermitteln. Die Anschauung muß hinzu-

treten. Dies war Aufgabe der Demonstrationsvorlesung – fälschlich „Experimentalvorlesung“ genannt – oder der Vorführung einzelner Verfahren im Laboratorium, gelegentlich, wenngleich nicht immer, von praktischen Übungen begleitet. Seit dem frühen 17. Jahrhundert lassen sich denn auch in wachsender Zahl chemische Universitätslaboratorien nachweisen, wenn man sich nicht mit dem Labor einer örtlichen Apotheke behelft. Ob diese Laboratorien nun reich oder primitiv ausgestattet waren, ob sie eigene vier Wände besaßen oder es sich um kurzfristig 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 *ad oculos* demonstriert und vielleicht praktisch geübt wurden.

Trotz dieser relativ begrenzten Zielsetzung war damit ein neues Element im Kontext der Hochschulausbildung geschaffen. Der Botaniker,

der Zoologe, der Mineraloge konnten 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 Receptis operierte“ wurde er, wie es bei Emil Erlenmeyer 1871 heißt, „zum Laboranten, um nicht zu sagen zum Handwerker erzogen“.

Von der „Pensionsanstalt“ zum „Institut“

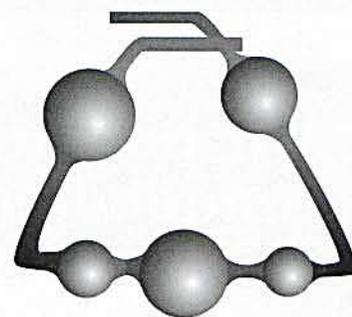
Die Adressaten des praktisch-chemischen Universitätsunterrichts waren in erster Linie künftige Apotheker. Die Bedeutung dieses Berufsstandes für die Herausbildung des chemischen Hochschulfaches und die Entstehung eines neuen Typus

universitärer Ausbildungseinrichtungen ist in der Forschung mehrfach dargestellt worden. In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts war die traditionelle Apothekerausbildung in Form eines handwerklichen Lehrverhältnisses als unzureichend erkannt. Ein Universitätsstudium aber schied wegen der Kosten und der schulischen 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 geeignetste Weg. Dem Beispiel Johann Christian Wiegles, eines Apothekers in Langensalza, folgend, entstanden in verschiede-

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 abrunden. Der Unterricht fand in den Räumen der Universität statt. Das Schulgeld aber floß den Professoren direkt zu, doch hatten diese dafür alle Lehrmittel und Verbrauchsmaterialien zu bestreiten.

Während die Landesregierungen die Vorzüge dieses Modells durchaus erkannten, regte sich Widerstand in den Reihen der eher konservativen Universitäten. Denn diese sahen sowohl ihr Ausbildungsmonopol, als auch ihre korporative und administrative Einheit durch ein struktur fremdes privatwirtschaftliches Element bedroht. In Gießen stellte ein Mitglied des Senats in einem schar-



Mit dem Fünfkugel-Apparat hat Justus Liebig die Elementaranalyse perfektioniert: Konnte Berzelius, der von Liebig selbst als der geschickteste Experimentator seiner Zeit bezeichnet wurde, in herkömmlicher Weise sieben Substanzen in 18 Monaten analysieren, so schaffte Liebig mit seinem Verfahren 70 Substanzen in vier Monaten. Dadurch verlor die Elementaranalyse ihren Status als Selbstzweck und wurde zu einem Forschungsmittel. Noch heute schmückt der Fünfkugelapparat das Signet der American Chemical Society.

„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 nöthigen Materialien und Hilfsmittel liefere; etwa 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“. (Hermann Kolbe, Leipzig 1872)

nen deutschen Territorien private chemische Lehranstalten. In diesen sollten sowohl künftige Apotheker als auch sonstige Gewerbetreibende eine wissenschaftlich-praktische Elementarbildung 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 in den deutschen Territorien 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

festen Sondergutachten fest, es sei Aufgabe der Universität, künftige Staatsdiener heranzubilden; folglich liege die Ausbildung von Apothekern, Seifensiedern, Bierbrauern, Likörfabrikanten, Färbern, Essigsiedern, Drogisten und Spezereikrämern außerhalb ihrer Zuständigkeit. Wer Unternehmer und nicht Staatsdiener werden wolle, der könne nicht den Staat für seine Ausbildung zur Kasse bitten. Dies führte dazu, daß Liebig's Institut zwar geduldet, bis 1835 jedoch nicht als wirklicher Teil der Universität betrachtet und daher – Geräte, Verbrauchsmaterialien und Assistenten eingeschlossen – von Liebig privat finanziert wurde. Heute würden wir von einem An-Institut sprechen.

Ähnliche Verhältnisse finden sich noch bis in die 1860er Jahre an vielen Universitäten. Denn so lange eine nennenswerte chemische Industrie nicht existierte, galt die Chemie als kostspielige Liebhaberei weniger, von der die Allgemeinheit wenig profitiere. Damit ist die

Grundkonstellation eines Konflikts markiert, wie ihn 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 strebte, als Streitpunkt dazwischen: die vergleichsweise hohen Kosten einer praktisch-chemischen Ausbildung. Dabei ging es natürlich um mehr als nur um Chemie: Es galt, die Beziehungen zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Staat neu zu ordnen und den Platz der Hochschulen in einer modernen Gesellschaft zu definieren.

Instrument und Überschwang

Gießen gilt als der Ort, wo dieser Konflikt erstmals und richtungswesend gelöst wurde. Daß hier der früheste systematische Unterricht in Experimentalchemie stattfand, woraus die erste wirkliche Forschungsschule hervorging und Liebig's Chemisches Institut folglich zur Stammutter aller chemischen Forschungsinstitute wurde, ist ein Gemeinplatz der Chemiegeschichte. Daß Experimentalunterricht zur Forschung hin-

führt, wird dabei stillschweigend vorausgesetzt.

Neuere Untersuchungen haben Zweifel an diesem Ursprungsmythos angemeldet. Die Analyse von Ausbildung und Forschung in Liebig's 15 ersten Gießener Jahren hat gezeigt, daß der Eindruck einer bewußten und zielgerichteten Strategie zur Durchsetzung des neuen, forschungsorientierten Ausbildungskonzeptes – wie dies gerade auch Liebig selbst retrospektiv dargestellt hat – dem historischen Sachverhalt nicht gerecht wird. Vielmehr war die in Gießen realisierte Verbindung von Lehre und Forschung Resultat eines mehrstufigen, begrenzte Ressourcen geschickt nutzenden Prozesses, um die Organisation wissenschaftlicher Arbeit den jeweiligen Verhältnissen entsprechend zu optimieren.

Zunächst hatte Liebig nämlich offenbar nicht viel mehr im Sinn als eine Schule für Apotheker nach Art der von Trommsdorff in Erfurt betriebenen, wenn auch mit dem Unterschied, daß die praktische Ausbildung und die chemische Analyse größeren Raum einnehmen sollten. Von einer systematischen Anleitung zur Forschung konnte dabei nicht die Rede sein. Auch hatte Liebig's 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 Fortgeschrittenen aus jener Zeit überließ Liebig allenfalls Themen, die sich aus Nebenaspekten eigener Untersuchungen ergeben hatten.

Die wichtigste Änderung dieser Lehr- und Forschungspraxis ging von einer apparativen Methode aus: von Liebig's Verfahren der organischen Elementaranalyse durch gravimetrische Bestimmung der Verbrennungsprodukte. Bekanntlich hatte Liebig 1831 verschiedene ältere Verfahren zu einer einfachen, schnellen und verlässlichen Methode vereinigt. Was das für Forschung und Unterricht bedeutete, 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 bedurft hätte.

Die Analysenergebnisse selbst veränderten damit ihren Stellenwert: Sie verloren ihren Status als ein Forschungsziel per se, wie dies in der eher naturhistorisch vorgehenden Tradition bis dahin der Fall war, und wurden zu Daten, mit deren Hilfe erst man wissenschaftliche Fragen beantworten und den Forschungsprozeß lenken konnte. Analysendaten hatten für Liebig nicht an sich,

sondern nur als Teil eines „chemischen Arguments“ ihren Sinn. Sie waren für ihn wie die Buchstaben des Alphabets in einer „Sprache der Erscheinungen“.

Mit diesem neuen Verständnis vom Wesen und Stellenwert analytischer Daten waren die Voraussetzungen für komplexere Untersuchungsvorhaben geschaffen; denn die benötigten Werte konnte Liebig sich nun mit Hilfe des neuen Apparats von Studenten und Hilfskräften erheben lassen, während er selbst den Kopf und

„Um in dem mit unbekanntem 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 Übung 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.“ (Justus Liebig, Über das Studium der Naturwissenschaften, 1840)

die Hände frei bekam für größere Zusammenhänge. Dies war die zweite Phase der Einbeziehung von Studierenden in die experimentelle Forschung.

Zwischen 1835 und 1837 fand dann der entscheidende Übergang von isolierten und delegierten Forschungsaufgaben zur eigentlichen

Forschungsgruppe statt. Die Gründe sind vielfältig. 1835 waren die ersten ausländischen Gastwissenschaftler in das Gießener Institut gekommen, zugleich überstieg erstmals die Zahl der im Labor arbeitenden Chemiestudenten die der dort unterrichteten Pharmazeuten. Andererseits war Liebig mit vielfältigen Verpflichtungen so stark belastet, daß er kaum noch zu eigener Laboratoriumsarbeit kam. Damals entdeckte er, daß es genüge, wenn der Leiter eines Forschungsinstituts den generellen Arbeitsplan festlege, die Forschungstätigkeit selbst aber anderen überlasse.

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 Studenten, um mit ihrer Hilfe 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 Gesamtlösung zusammenzuführen. Dies ist der eigentliche Beginn der universitären Forschungsgruppe und eines neuen, forschungsorientierten Ausbildungskonzepts. 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.“

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, von 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. Darüber hinaus erlaubte die Methode, Forschung und Unterricht aus der Idee einer forschungsorientierten Ausbildung heraus neu zu organisieren. Genau hier liegt der Kern von Liebig's Reform, und in dieser Hinsicht darf sein Gießener Institut in der Tat als die Keimzelle aller modernen Forschungsinstitute gelten.

Eine systematisch-didaktische Anleitung zur chemischen Forschung, die den Erfolg der Liebigschen Schule erklären könnte, hat es hingegen nie gegeben. Eigentlichen Unterricht im Laboratorium erhielten nur die Anfänger, und zwar von Assistenten und fast ausschließlich in Analytik. Liebig's Assistenten waren es auch, die das Gießener Modell des Anfängerunterrichts in Lehrbüchern kodifizierten und auf diese Weise für seine Verbreitung sorgten. Carl Remigius Fresenius' *Anleitung zur chemischen Analyse* von 1841 und vor allem Heinrich Wills *Anleitung zur chemischen Analyse zum Gebrauche im chemischen Laboratorium zu Giessen* von 1846 sind hier zu nennen mit ihren binnen Jahresfrist erschienenen englischen, französischen und russischen Übersetzungen. Ein Curriculum für die Fortgeschritteneren – 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“ (A.W. Hofmann) – existierte in Gießen jedoch nicht.

Legitimationen

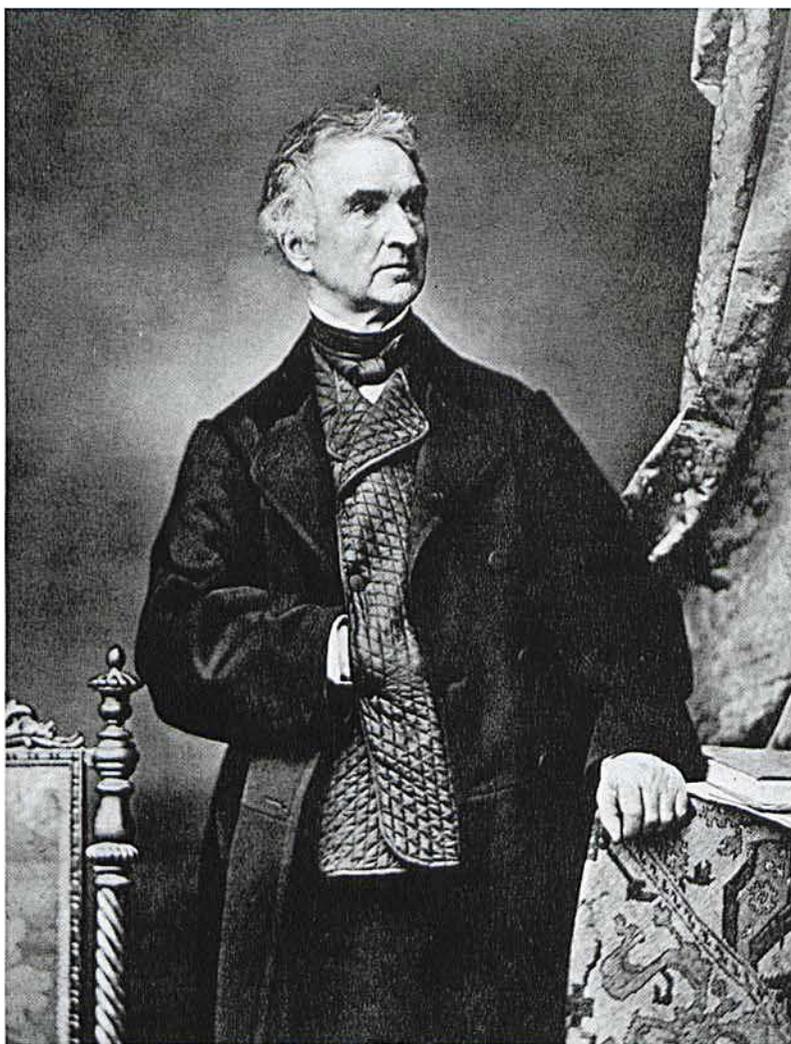
Enthusiasmus als pädagogisches Prinzip ist auf Dauer nicht durchzuhalten, geschweige denn zu institutionalisieren. Ebenso wenig läßt sich Forschung damit legitimieren. Hier bedurfte es in der Folge Begründungen von höherer Verbindlichkeit. So erinnerte Emil Erlenmeyer sich 1871 schon ein wenig melancholisch des simplen Geheimnisses von Liebig's Erfolg:

„Es gibt nur wenige ... die es zugleich verstehen, die übersprudelnden Funken ihrer eigenen Geistesthätigkeit auf ihre Schüler zu übertragen und dort zum lodernden Feuer der Begeisterung für die Wissenschaft anzufachen. Der Meister der Gießener Werkstätte practischer 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

„Ein eigentlicher Unterricht im Laboratorium, den geübte Assistenten besorgten, bestand nur für die Anfänger; meine speciellen Schüler lernten nur im Verhältniss, als sie mitbrachten, ich gab die Aufgaben und überwachte die Ausführung; wie die Radien 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 genöthigt, seinen eigenen Weg selbst zu suchen. In dem Zusammenleben und steten Verkehr miteinander, und indem Jeder theilnahm an den Arbeiten Aller, lernte Jeder von dem Andern. Im Winter gab ich wöchentlich zwei Mal eine Art Übersicht über die wichtigsten Fragen des Tages. Es war zum großen Teil ein Bericht über meine und ihre eigenen Arbeiten in Verbindung gebracht mit den Untersuchungen anderer Chemiker.“ (Liebig, eigenhändige biographische Aufzeichnungen)

Richtung gegeben hat.“

Die Forschungsgruppe der experimentellen Naturwissenschaft, Lehrer und Studenten zusammengehalten von der Teilhabe aller am Erkenntnisprozeß, war Liebig's Antwort gewesen auf die neuhumanistische Idee des Seminars. Als „Pflanzschulen der Wissenschaft“ waren die ersten Seminarien in den historischen und philologischen Fächern des ausgehenden 18. Jahrhunderts entstanden, um Gymnasiallehrer, später aber auch den wissenschaftlichen Nachwuchs heranzubilden. Wilhelm von Humboldt's Idee einer Universität, die sich vom Bildungsbegriff her bestimmt, wertete das Seminar auf zu der eigentlichen Organisationsform eines Studiums, bei dem der menschliche Geist an den Widerständen des Materials sich bildet. 1825 übernahm Bonn, 1828 Königsberg die Seminarform für die Naturwissenschaften. Doch erst bei Liebig rückten das Experiment, das arbeitsteilige Kollektiv und der Primat der Forschung ins Zentrum – legitimiert und



Liebig in den letzten Monaten seines Lebens, 70 Jahre alt

überhört aber auch hier durch den Bildungsbegriff: „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!“

Der Bildungsbegriff sollte seine integrierende Kraft freilich 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 gewöhnlichen Geschäft des gewerblichen Nutzens und ökonomischen Gewinns keinen Hehl machen konnte und deren Nachwuchs sich eher aus dem Kleinbürgertum denn aus den traditionellen Bildungseliten rekrutierte. Hier war mit Sonntagsreden nicht viel auszurichten.

Auch ließ sich die staatliche Förderung der chemischen Forschung und die Einrichtung forschungsorientierter Studiengänge auf Dauer weder vom Bildungsauftrag her, noch mit der Idee einer „reinen“, nur der Erkenntnis verpflichteten Wissenschaft, und schon gar nicht

mit dem Argument einer zeitgemäßen Beamtenausbildung begründen, solange das Kostenargument nicht entkräftet war. Denn noch um die Jahrhundertmitte verschlangen die chemischen Institute oft mehr an laufenden Kosten, als alle übrigen Einrichtungen der Universitäten – die Kliniken einmal ausgenommen – zusammen. Aus diesem Grund hatte 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 Liebig's 1840 erschienener Propagandaschrift *Über das Studium der Naturwissenschaften und über den Zustand der Chemie in Preußen*.

Schulen der Forschung

Es ist im wesentlichen das Verdienst Hermann Kolbes, das Liebig'sche Ausbildungsmodell und den dazugehörigen Legitimationsvorteil des Spin-off-Effekts energisch und mit großem organisatorischem Geschick erstmals zu einem wirklichen didaktischen Konzept fortentwickelt und wirksam propagiert zu haben. In Marburg, wo Kolbe seit 1851 lehrte, waren hierzu erhebliche Widerstände zu überwinden. Denn auch hier war man der Auffassung, die Studiengänge der Universität sollten auf klar umrissene Berufsbilder hin führen, so wie die Pharmazie Apotheker, die Medizin Ärzte, Philologie 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 die Ausbildung finanziere.

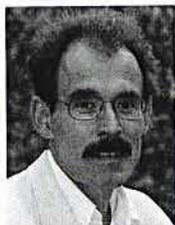
Die Chemikerausbildung zu eng an die Bedürfnisse von Markt und Beruf zu binden, war für Kolbe jedoch Ausweis eines kurzsichtigen, rein administrativen Denkens. Denn der Sinn eines Chemiestudiums könne nicht darin liegen, „daß der ... Landwirth Dünger, der Techniker Soda oder Seife fabriciren, der Hüttenmann Erze ausbringen lerne; sie besteht vielmehr darin, daß dieselben ... chemische Fragen lösen und die dabei entstehenden Schwierig-



Universität Regensburg

Prof. Dr. Christoph Meinel

Universität Regensburg
Lehrstuhl für Wissenschaftsgeschichte
93040 Regensburg
Telefon (0941) 943-3659 oder -3661
Fax (0941) 943-1985 oder -4992
e-mail christoph.meinel@psk.uni-regensburg.de



Christoph Meinel, Professor für Wissenschaftsgeschichte an der Universität Regensburg, hat in Marburg Chemie studiert, in Wissenschaftsgeschichte promoviert und 1987 in Hamburg habilitiert. Nach Auslandsaufenthalten an der University of Kent und am Smith College, Massachusetts, war er 1987/88 Fellow am Wissenschaftskolleg zu Berlin, danach Professor für Geschichte der Naturwissenschaften in Mainz. Seit 1990 lehrt er in Regensburg. Lange Zeit Vorsitzender der Fachgruppe Geschichte der Chemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker und Vorsitzender der Deutschen Gesellschaft für Geschichte der Medizin, Naturwissenschaft und Technik, ist er derzeit Präsident der International Commission on the History of Modern Chemistry. Seine Arbeitsgebiete umfassen die Wissenschaften der frühen Neuzeit sowie die Chemiegeschichte des 18. bis 20. Jahrhunderts. Zur Zeit bereitet er eine Neuedition des Briefwechsels zwischen Justus Liebig und Friedrich Wöhler vor.

keiten überwinden, daß sie chemisch denken lernen.“

Die Universität müsse sich deshalb zur Akademie, nicht zur polytechnischen Schule hin entwickeln, „Pflanzschule der Wissenschaft“ sein und nicht „Staatsdiener-Zurichtungsanstalt“. 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“.

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 Lie-

„Wir arbeiteten, wenn der Tag begann, bis zur sinkenden Nacht. Zerstreungen und Vergnü- gungen gab es in Giessen nicht. Die einzigen Klagen, die sich stets wiederholten, waren die des Dieners, welcher am Abend, wenn er rei- nigen sollte, die Arbeitenden nicht aus dem La- boratorium bringen konnte.“ (Liebig, eigenhän- dige biographische Aufzeichnungen)

big's Labor Enthusiasmus und Korps- geist waren, mußte jetzt durch Me- thode ersetzt werden. Denn für eine kleine Zahl Hochbegabter sei es, so Kolbe, „von geringerer Bedeutung, ob sie mehr oder weniger guten Unterricht genießen; bei der Mehr- zahl 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.“

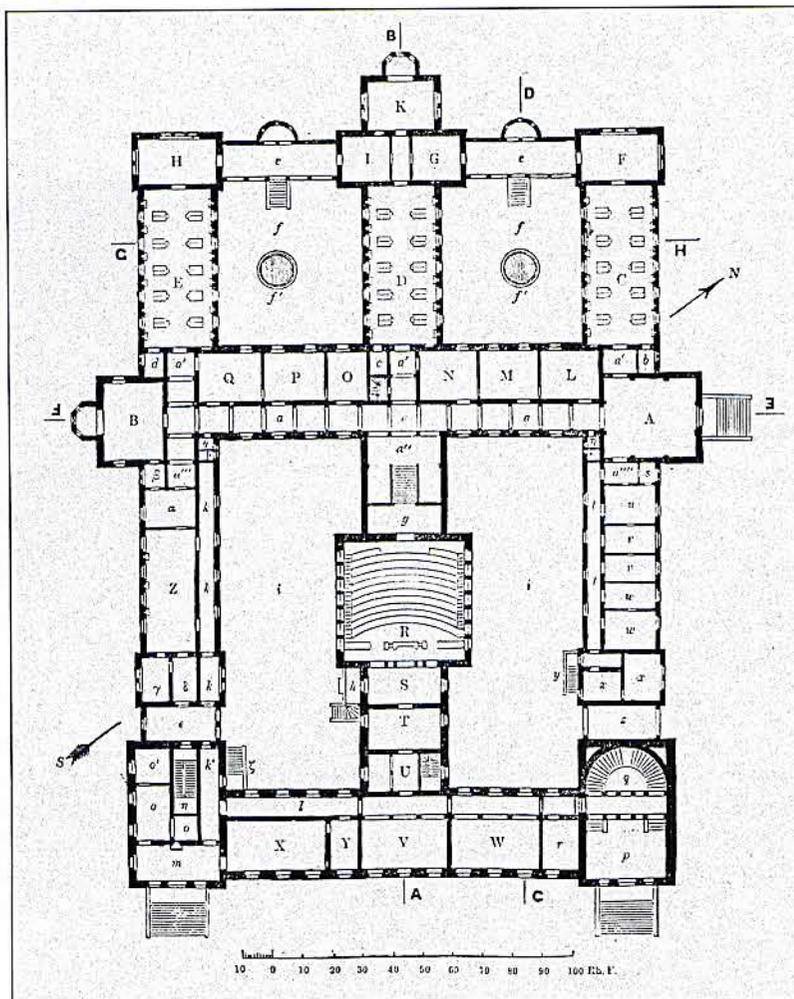
Es ist daher durchaus angemessen, in Kolbe den ersten Theoretiker und Prakti- ker einer modernen, for- schungsorientierten Hoch- schuldidaktik der Chemie zu sehen. Deren Grundkonze- ption bestand ihre Feuerpro- be in der Auseinanderset- zung mit der Marburger Uni- versitätsadministration und dem Ministerium in Kassel.

Entfaltet und bewährt hat sich Kolbes didaktisches Konzept dann in Leipzig, wo er 1868 das größ- te und modernste Chemische Insti- tut seiner Zeit errichten konnte.

Kolbes Studienplan stand in der Nachfolge des Liebigschen Konzepts eines forschungsorientierten Ler- nens, gab diesem aber didaktisch klarere Form und begründete dies methodisch, pädagogisch und wis- senschaftspolitisch. Seine Grund- konzeption ist bis in die 1890er Jah- re bewahrt und von allen namhaf- ten Fachvertretern, die sich in Deutschland mit den Aufgaben des Chemiestudiums befaßt haben, be- stätigt worden. Emil Erlenmeyer dürfte die herrschende Auffassung durchaus korrekt wiedergegeben ha- ben, als er 1871 feststellte: „Das Ziel des chemischen Unterrichts kann, um es mit einem Worte auszudrück- en, kein anderes sein, als die Stu- dierenden zu Forschern und Entde- ckern im Gebiete der wissenschaftli- chen und technischen Chemie aus- zubilden.“

Werkstätten der Zukunft

Was aber sollte die Gesellschaft, was die entstehende chemische In- dustrie mit all den chemischen For- schern und Entdeckern anfangen? Zwar haben Historiker gelegentlich die Auffassung vertreten, der rasche Aufstieg der deutschen chemischen Industrie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts sei nicht zuletzt auf eine „Überproduktion“ von Hochschulchemikern zurückzufüh- ren; doch die Anforderungen der Wirtschaft unterschieden sich recht deutlich von dem, was die jungen Doktoren von den Universitäten mit- brachten. Die Klagen über die sich vergrößernde Kluft zwischen der chemischen Wissenschaft und der chemischen Industrie nahmen eher



Das Chemische Laboratorium der Universität Bonn, 1865

zu bis zum Ende des Jahrhunderts.

Besonders dramatisch hatte dies Liebigs „Meisterschüler“ August Wilhelm Hofmann in London erfahren müssen. Das von ihm nach Muster des Liebigschen Labors geführte Royal College of Chemistry war eine Einrichtung der Wirtschaft. Finanziert von Grundbesitzern, die an die Verbesserung von Landwirtschaft, Kohle- und Erzbergbau dachten, aber auch von Drogisten und Fabrikanten, war es eine Forschungs- und Lehranstalt, die zugleich als Untersuchungsamt diente, 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. Hofmann selbst hat aus dieser Erfahrung die Vision einer neuartigen Allianz von „reiner“ Hochschulforschung und industrieller Umsetzung entwickelt, wobei seine Funktionszuweisung für die Hochschulchemie ihr Zentrum im neuen Begriff der „Synthese“ fand. Hofmann sah eine neue „Ära der synthetischen Chemie“ heraufziehen, in der die gezielte Herstellung jeder gewünschten Verbindung in greifbare Nähe gerückt schien und dem Chemiker die Aufgabe zufiel, eine neue Welt aus neuen Materialien zu bauen.

Das Deutschland, in das Hofmann 1865 mit diesem Programm zurückkehrte, 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 Gründerwelle 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 Humboldtische 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 Forschungslaboratorien war im Entstehen. Selbstbewußt stellten ihre Leiter die neuen Institute in zum Teil aufwendig ausgestatteten Sammelbänden vor – einer Literaturgattung, die sich vor allem von der mit Zeichnungen illustrierten Werbeschrift für Liebigs Gießener Labor herleitete und im Prachtband für Bunsens Heidelberger Institut kulminierte, wofür das größtmögliche Buchformat, Imperial-Folio, gerade gut genug war.

Eine wirklich neue Qualität erreichte der Laboratorienbau an den deutschen Hochschulen mit dem von August Wilhelm Hofmann noch von London aus geplanten Neubau des Chemischen Instituts in Bonn – dem ersten Vertreter jener „temples de l'avenir“, wie Pasteur sie genannt hat. Doch schon zwei Jahre danach übertraf das Chemische Institut in der Berliner Dorotheenstraße den Bonner Institutsbau bereits um Größenordnungen. Mit drei Arbeitssälen für Anfänger und Fortgeschrittene, Spektroskopie- und Photometrieräumen, Spül-, Wäge- und Titrierzimmer, metallurgischem und forensischem Labor, verschiedenen Werkstätten sowie einem Privatlaboratorium für den Direktor bot es alle Voraussetzungen, um ein auf die planmäßige chemische Synthese gegründetes Forschungs- und Ausbildungsprogramm auf breiter Front voranzutreiben.

Mehr als 200 Doktorarbeiten hat Hofmann in Berlin vergeben, und noch einmal so viele dürften seine Assistenten betreut haben. 899 wissenschaftliche Arbeiten mit dem Serientitel „Aus dem Berliner Universitäts-Laboratorium“, die in den Berichten der deutschen Chemischen Gesellschaft publiziert wurden, bezeugen die neue Dimension der Produktion von Erkenntnis. In dieser Weise hatte zuvor noch niemand Chemie betrieben. Grundsätze der industriellen Forschung, der Entfaltung und Variation ganzer Produktpaletten sind hier vorweggenommen. Kein Wunder, daß Hofmann sein Institut mit einer ungeheuren Maschine verglich und sich in der Lage eines Industriellen sah, dem Produktionskapital und Arbeitskraft zu Gebote steht. Doch statt Liebig's 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 in einer sehr markanten Weise auf die an anderen deutschen Hochschulen praktizierte Überbetonung der Analyse als dem wichtigsten, ja oft dem einzigen Unterrichtsmittel. Bei Bunsen in Heidelberg etwa standen sechs bis zehn Tage dauernde Leuchtgasanalysen und sechs Wochen dauernde Silikatanalysen im Zentrum des chemischen Praktikums. Hingegen fand schon Kolbe 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“, 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“. Ist es gewagt, die Wendung, die die praktische Ausbildung bei Hofmann erfuhr, als eine Antwort der Chemie auf die Herausforderungen der Gründerzeit zu sehen?

Grenzen und Krise

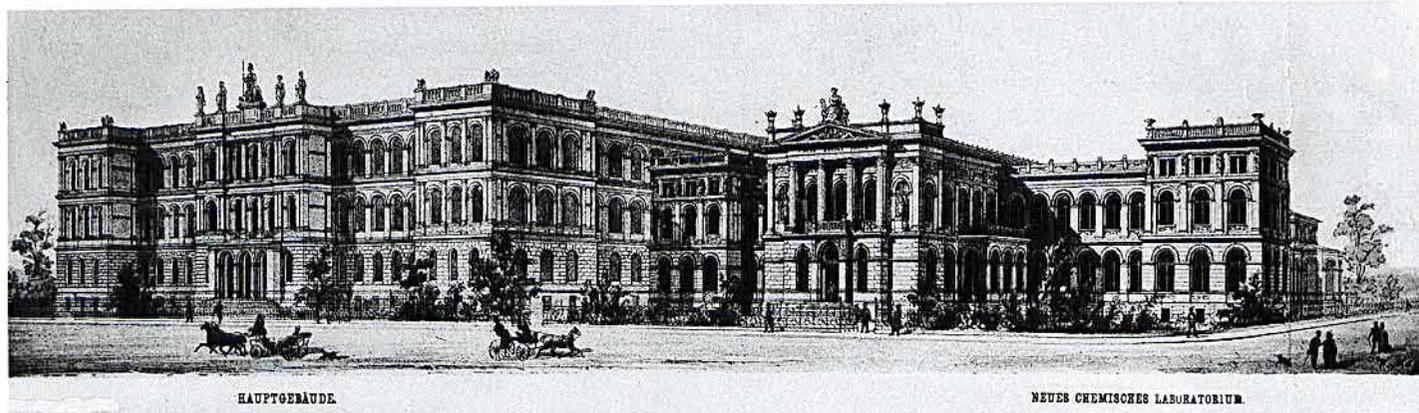
In quantitativer Hinsicht war Berlin nur der Anfang gewesen. Die Chemischen Institute in Leipzig, Straßburg und München überboten einander, um schließlich in dem 1900 für Emil Fischer in Berlin gebauten Institut in der Hessischen Straße zu gipfeln: mit 250 Arbeitsplätzen damals das größte naturwissenschaftliche Forschungsinstitut der Welt. Damit jedoch 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 Studentenzahl von 987 auf 7286, also um 638 Prozent gestiegen, während sich die Zahl der Ordinarien bloß um 56 Prozent auf 241, die der Extraordinarien um 133 Prozent und die der Privatdozenten um 250 Prozent erhöht hatte.

Die vielbeschworene Einheit von Forschung und Lehre blieb hinter der gesellschaftlichen Realität und einer sich rasch diversifizierenden Hochschullandschaft 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 heraufkommenden Massenuniversität nicht länger aufrechterhalten. Grund- und Forschungsstudium entfernten sich immer weiter voneinander, wobei ersteres an Assistenten delegiert, entindividualisiert und verschult, letzteres gelegentlich in Form regelrechter Doktorfabriken organisiert wurde – eine Erscheinung, die offenbar gerade in der Chemie grassierte, verschiedentlich angeprangert wurde und sogar zu Anfragen im Reichstag geführt hat.

Von einheitlichen Studiengängen konnte dabei kaum die Rede sein. Denn so lange die Promotion den einzig möglichen Studienabschluß eines Chemikers darstellte, hingen die Schwerpunkte seiner Ausbildung stark von der Arbeitsrichtung des jeweiligen Institutsleiters ab. Selbst was die Anforderungen an das Dokortorexamen anging, gab es erhebliche Qualitätsunterschiede. 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



Das Chemische Laboratorium neben dem Hauptgebäude der TH Aachen, 1879

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. Die Universitäten witterten natürlich sogleich einen Eingriff in ihre Autonomie, die Professoren, unter der wortgewaltigen Führung des Leipziger Physikochemikers Wilhelm Ostwald, 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, ohne aber ein wirklicher Studienabschluß zu sein.

Als Folge von Massenuniversität, Differenzierung, Spezialisierung und Arbeitsteilung, als Folge aber auch des legitimen Anspruchs von Staat und Industrie auf ein standardisiertes Ausbildungsprofil erlebte das deutsche Hochschulsystem um die Jahrhundertwende seinen größten Strukturwandel seit den Zeiten Wilhelm von Humboldts. An den Universitäten trat die Ausbildungsfunktion stärker hervor, und zugleich verlagerten sich Forschungsschwer-

punkte aus den Universitäten heraus. Die Gründung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg (1887), die von Emil Fischer betriebene Schaffung reiner Forschungsprofessuren (erstmalig 1896 für van't Hoff) und der von Emil Fischer und dem Nernst-Schüler Emil Bose vorgelegte Plan einer Chemischen Reichsanstalt (1899/1900), der dann zur Gründung des ersten Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie (1911) führte, sind die späteren Meilensteine auf diesem Weg.

Karrierestufen des Hochschullabors

Wie Forschungslaboratorium, Ausbildungsprofil und Organisation der Forschungsarbeit zusammenhängen, wird man durch bloßes Auszählen der Laboratorien, ihrer Ausstattung und Finanzierung oder der Zahl von Praktikanten und Absolventen nicht beantworten können. Hier ging es eher um die qualitativen Sprünge, um jeweils spezifische Funktionszusammenhänge zwischen chemischem Unterricht, chemischer Forschung und der Rolle des Laboratoriums. In dieser Hinsicht lassen sich sieben Etappen klar unterscheiden: 1) die Laboratorien als handlungsorientierte Schulen einer herstellenden Praxis mit vornehmlich pharmazeutischer Zielsetzung;

2) die Wandlung vom Berufsfachinternat zu einem Strukturelement universitärer Organisation; 3) die Geburt der Forschungsgruppe aus der Kombination von Instrument und Überschwang; 4) Strategien der Legitimation über den Bildungsbegriff oder ökonomisch über die Spin-off-These; 5) die Transformation der Universitätsinstitute in Schulen der Forschung; 6) ihre Neudefinition über den Synthesebegriff als Werkstätten der Zukunft; und 7) schließlich das allmähliche Auseinanderbrechen einer nur mehr aus Gründen des Statuserhalts behaupteten Einheit von Forschung und Lehre, deren ursprüngliche Organisationsform das chemische Laboratorium gewesen war. •

LITERATUR

- Christoph Meinel: Die Chemie an der Universität Marburg seit Beginn des 19. Jahrhunderts (Marburg 1978)
- Frederic L. Holmes: „The complementarity of teaching and research in Liebig's laboratory,“ *Osiris*, N.S. 5 (1989), 121-164
- Joseph S. Fruton: *Contrasts in Scientific Style: Research Groups in the Chemical and Biochemical Sciences* (Philadelphia 1990)
- William H. Brock: *Justus von Liebig: The Chemical Gatekeeper* (Cambridge 1997)