

Forschung Wissenschaft

Wege und Ziele der chemischen Forschung an der Hochschule: Erfahrungen auf dem Gebiete der Farbstoff- und Textilchemie¹

Von H. ZOLLINGER

Technisch-Chemisches Laboratorium, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Summary

The experience gained in research in dyestuff and textile chemistry is used as a basis to discuss the problems and potential goals of academic research at the present time. In addition to receiving training in specific scientific methods in a particular area of research, it is important that graduate students are well acquainted with the basic principles of general science, with research planning and with the problem of information exchange. Some specific research problems treated at the Department of Industrial and Engineering Chemistry, ETH Zurich, are summarized briefly.

In den letzten Jahren stehen die Universitäten und technischen Hochschulen von fast allen Ländern der Welt in einem Prozeß der Umstrukturierung und der Infragestellung von Wegen und Zielen einer Hochschule im allgemeinen. Dieses Thema wird heute auch in der Schweiz auf breiter Front diskutiert. Auf politischer Ebene ergibt sich die Notwendigkeit dazu konkret aus drei Gründen, nämlich

1. der Revision der verfassungsmäßigen Grundlage, d. h. des Bildungsartikels 27 unserer Bundesverfassung,
2. des Hochschulförderungsgesetzes des Bundes für die kantonalen Hochschulen,
3. der Arbeiten für ein neues Gesetz der Eidgenössischen Technischen Hochschulen in Zürich und Lausanne.

Die Vielzahl der Fragen, die im Rahmen einer umfassenden Bildungskonzeption und Planung aufgeworfen werden müssen, faßte Prof. Dr. E. HADORN, Mitglied des Schweizerischen Wissenschaftsrates, kürzlich an einem Podiumsgespräch der Gesellschaft für Hochschule und Forschung wie folgt zusammen:

«Wie weit haben die Hochschulen auch weiterhin eine gründliche wissenschaftliche Fachausbildung zu vermitteln? Soll an der Einheit von Lehre und Forschung festgehalten werden? Welche Verantwortung trägt die Forschung gegenüber der Gesellschaft? Wie steht es mit der Autonomie der Universität? Welche Struktur brauchen die Hochschulen? Und in welchem Maße sind wir gewillt, eine ‚Hochschule Schweiz‘ zu verwirklichen?»

Diese Fragen gehen weit über den Rahmen dieses Referates hinaus. Ich bin jedoch überzeugt, daß das eigentliche Thema, das hier diskutiert werden soll – die Wege und Ziele der chemischen Forschung an der Hochschule

–, in Zukunft vermehrt, als es bisher geschah, im Rahmen dieser Gesamtproblemstellung betrachtet werden muß.

Bei den im Titel genannten Erfahrungen handelt es sich ausschließlich um eigene Erfahrungen. Sie stammen aus dem Gebiete der Untersuchung von Reaktionsmechanismen der organischen Chemie, der Farbstoff- und der Textilchemie. Meines Erachtens sind sie, von relativ unwesentlichen Einzelheiten abgesehen, nicht nur für dieses Gebiet charakteristisch, sondern können auch für andere Gebiete der Chemie angewandt werden.

Den Ausgangspunkt bilden die spezifischen Ziele, die allgemein einem Hochschulinstitut im Unterricht und in der Grundlagenforschung gestellt sind. Diese Ziele werden von den besonderen Gegebenheiten aus entwickelt, welche sich für Hochschule und Wirtschaft aus den heutigen Verhältnissen in der westlichen Welt ergeben. Anschließend werde ich auf die Wege eingehen, die wir für unsere eigenen chemische Forschung an der ETH gewählt haben. Bei den zu besprechenden Wegen werden absichtlich konkrete Forschungsergebnisse nur im Sinne von Beispielen kurz gestreift, da es sich nicht darum handeln kann, diese Ergebnisse im einzelnen zu diskutieren.

1. Wege und Ziele der Hochschulausbildung für die Zukunft

Die spezifischen Ziele eines Hochschulinstitutes auf irgendeinem wirtschaftsnahen Gebiet sind meines Erachtens sehr einfach zu definieren: Der Lehrkörper des Institutes, d. h. Dozenten und Assistenten, hat die Ausbildung der Studenten im betreffenden Fach sicherzustellen und Grundlagenforschung in angemessenem Ausmaße zu betreiben. Bei beiden Aufgaben sind in erster Linie die Einordnung in den Gesamtrahmen von Unterricht und Forschung der betreffenden Fakultät, Abteilung und Fachbereich, dann aber auch die Bedürfnisse der schweizerischen Wirtschaft und der internationale Stand des betreffenden Forschungsgebietes zu berücksichtigen. Schließlich möchte ich meiner persönlichen Meinung entschieden Ausdruck geben, daß die Hoch-

¹ Nach Vorträgen an der Generalversammlung des Schweizerischen Spinner-, Zwirner- und Webersvereins (25. Mai 1971) auf Schloß Lenzburg und im Chemikerfortbildungskurs der Ciba-Geigy AG (2. Juli 1971) in Basel.

schulen die Aufgaben haben, die Studenten zu selbständiger Arbeit und kritischem Denken zu erziehen. Damit sollen die Studenten mit Methoden und Wegen vertraut gemacht werden, die heute für eine Führerpersönlichkeit Voraussetzung sind. Ob der einzelne Student wirklich ein Führer wird, hängt jedoch in erster Linie von Charaktereigenschaften ab, die ihm angeboren sind oder schon früher in ihm entwickelt wurden.

Generell bin ich der Ansicht, daß es in unserer heutigen, unstillen Zeit vor allem wichtig ist, optimale Wege zu wählen. Dies allein bietet Gewähr, überhaupt ein Ziel zu erreichen.

Mit dem Wandel der Verhältnisse in der westlichen Welt hat sich auch das Schwergewicht der Bedürfnisse unserer menschlichen Gemeinschaft verschoben. In der Zeit der industriellen Revolution des 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts hielten sich die Menschen an Führungspersönlichkeiten, die ihnen Möglichkeiten zu einem höheren Lebensstandard weisen konnten. In der Zwischenkriegszeit begannen sich die Menschen, zuerst in den USA, später auch in Europa, für ein Zusammengehörigkeitsgefühl einzusetzen. Als schweizerisches Beispiel aus dem Beginn dieser Zeit sei das Abkommen von 1937 zwischen Arbeitgeber und Gewerkschaften in der Maschinenindustrie genannt. Die Fähigkeit zur Organisation wurde damit zum Maßstabe der Führungseigenschaft. Der Leiter mußte eine Gruppe aufbauen und sicher führen können.

In jüngster Zeit zeigen sich jedoch immer deutlicher auch Schwächen dieses Entwicklungsstadiums. Sie sind durch den Begriff des Managers geprägt, der soviel mit der Verwaltung der Organisation zu tun hat, daß ihm die Zeit für neue, eigene Ideen fehlt.

Neue Ideen sind jedoch heute in allen Bereichen der menschlichen Gesellschaft von entscheidender Bedeutung für die Zukunft. Die «Obsoleszenz», d. h. das rasche technische und wissenschaftliche Verhalten und Überholtsein, wurde zu einem brennenden Problem.

Die Führerpersönlichkeit der Zukunft wird nicht mehr der stärkste, schlaueste, tüchtigste oder beliebteste Mann sein, sondern derjenige, der sich selbst dazu erzogen hat, immer wieder neues Wissen und Können zu erwerben. Aus diesem Blickwinkel ist es auch erklärlich, warum heute alles, was mit dem Begriff «Forschung» zusammenhängt, in Wirtschaft und Politik einen so guten Klang hat und warum z. B. Firmen, die in Neuerungen qualitativ führend sind, eine starke Anziehungskraft auf schöpferische Menschen ausüben.

Eine Führerpersönlichkeit muß deshalb heute ideenreich sein, durch sein Beispiel erzieherisch wirken und sich für seine eigene Weiterentwicklung Zeit nehmen. Seine Anziehungskraft muß darauf basieren, daß er anderen Menschen Möglichkeiten zur Entfaltung eigener, neuer Ideen gibt. Er muß – im Sinne eines bekannten Ausspruches – jeden Mitarbeiter grundsätzlich als potentiellen Träger eines Marschallstabes im Tornister beibringen.

Aus diesem Bild ergeben sich wichtige Konsequenzen für die Methodik von Lehre und Forschung an einer Hochschule:

Die Ausbildung soll einerseits gründlich und exakt in den Grundlagenfächern des betreffenden Gebietes sein. Sie soll außerdem an einzelnen Beispielen zeigen, wie ein Problem bis in die Details untersucht und gelöst wird. Dadurch soll der Student die Methodik lernen, andere – im Unterricht nicht explizite behandelte – Probleme, die sich ihm während des Studiums oder später in der Praxis stellen, selbständig zu lösen.

In diesem Sinne können etwa an Prüfungen Aufgaben gestellt werden, die im Unterricht nie behandelt wurden. Voraussetzung ist jedoch, daß der Examinator eine grundsätzliche mögliche Lösung des Kandidaten auch dann als richtig qualifiziert, wenn sie nicht mehr mit der – dem Studenten nicht bekannten – Lösung aus der Literatur oder Praxis übereinstimmt.

Außer dieser Gründlichkeit in Kenntnissen der Fakten und Methoden der wissenschaftlichen und technischen Grundlagen ist zur Entwicklung schöpferischer Ideen das Gefühl für interdisziplinäre Zusammenhänge und für die Anregung durch Resultate aus anderen Fachgebieten von größter Bedeutung. Es ist bekannt, daß neue Lösungen von Problemen in Forschung und Technik häufig durch Anwendung von gebietsfremden Methoden erzielt werden.

Die konkrete Anwendung dieser Grundsätze auf die textilchemische Ausbildung an der ETH Zürich führte deshalb zu einer Lösung, bei der die Grundlagenfächer der Chemie, d. h. Mathematik, Physik, allgemeine, anorganische, organische und physikalische Chemie, besonders in den unteren Semestern ein starkes Gewicht haben. Dazu kommt die eigentliche Textilchemie, d. h. die Chemie aller wichtigen natürlichen und synthetischen Textilfasern, der Textilveredlungsoperationen (Vorbereitung, Färberei, Druckerei und Nachbehandlung) und der dafür benötigten Chemikalien (Bleichmittel, Farbstoffe, Hochveredlungschemikalien und andere Ausrüstmittel, Tenside usw.). Da alle Textilfasern aus Makromolekülen aufgebaut sind, sind Kenntnisse der Polymerchemie unerlässlich.

Die starke Betonung der Grundlagenfächer und die dort erzielten wissenschaftlichen Erfolge sind ein zwingender Grund, die Textil- und die makromolekulare Chemie methodisch in gleicher Weise wie jene Fächer zu behandeln: Das heißt in anderen Worten, daß wir Dozenten der technischen Chemie die gleiche wissenschaftliche Sprache sprechen müssen wie unsere Kollegen aus den Grundlagenfächern, wenn wir an der Hochschule dozierten. Nach meiner Erfahrung ist es nur auf diese Weise möglich, begabte und intelligente junge Leute für unser Gebiet zu interessieren. Umgekehrt dürfen wir deshalb nicht den Kontakt mit der Praxis, und zwar in ihrer Sprache, verlieren.

Für die Erziehung zum selbständigen Denken als wichtigste Voraussetzung für die Entwicklung von Füh-

rerqualitäten haben wir Seminare in kleinen Gruppen für Studierende des 6. und 7. Semesters eingeführt, in denen jeweils ein Student über das Problem referiert, das er im Laboratorium bearbeitet. Seine Gesprächspartner sind nicht nur der Professor und der Assistent, sondern seine Kommilitonen. Dadurch wollen wir erreichen, daß die jungen Chemiker einerseits den Wert der Anregungen zu neuen Ideen erkennen, die sie durch den horizontalen Erfahrungsaustausch erhalten. Andererseits sehen sie dort, daß auch Professoren und Assistenten nicht für jedes unerwartete Problem eine fixe Antwort bereithaben können, sondern sie in gemeinsamem Gespräch erarbeiten müssen. Unser Institut, das Technisch-Chemische Laboratorium, ist stolz darauf, als erstes Institut der ETH für diese Seminare einen besonderen Seminarraum geschaffen zu haben, da sich für solche Gespräche Einrichtung und Atmosphäre des konventionellen Hörsaals nicht eignen.

Der klassische Chemiehörsaal mit Wandtafel, großem Korpus für den Dozenten und ansteigende Sitzreihen hat seine Rolle aber trotzdem nicht ausgespielt: Die mündliche Übermittlung von Wissen mit der persönlichen Prägung durch den Dozenten kann nicht durch das Studium von Büchern ersetzt werden: Untersuchungen, die in der Vorlesung für physikalische Chemie vor einigen Jahren an der ETH durchgeführt wurden, ergaben, daß über 80% dessen, was in den Kollegheften der Studenten stand, von der Wandtafel stammte! Die Zeit genügte offensichtlich nicht, um das gesprochene Wort aufzunehmen, zu verstehen und zu Papier zu bringen. Wir haben deshalb mit vervielfältigten Vorlesungsskripten, die vom Dozenten verfaßt sind, bei echt interessierten Studenten gute Erfahrungen gemacht. Es gibt allerdings einen gewissen Prozentsatz von Studenten, die glauben, daß ihnen ein solches Skriptum den Vorlesungsbesuch ersparen könne.

Unsere Hörsäle haben aber gerade für die Textilchemie hier und da noch eine besondere Bedeutung: Angehörige der Textilindustrie wissen besser als ich, wie wichtig bei solchen Produkten der visuelle Eindruck, die subjektive Bewertung des Griffs und Glanzes – ganz zu schweigen vom Rascheln der Seide – ist. Wir an der Hochschule gehen im Prinzip objektiv den Ursachen dieser Effekte nach. Aber gelegentlich sollten wir sie doch auch unseren Studenten zeigen – und dafür eignet sich der 8 m lange Korpus in unserem großen Hörsaal ausgezeichnet. Wir nennen diese Vorlesungsstunde «Demonstration der Endprodukte der Textilchemie»: Auf dem genannten Korpus führen Mannequins eine Reihe von Modellen vor, zu denen wir technische Erläuterungen über die Herstellung und Veredlung der vorgeführten Stoffe geben. Wir hoffen, durch solche etwas ungewöhnliche «Vorlesungen» auch unsere Studenten zu neuen Ideen anregen zu können und gleichzeitig etwas zum Glanz der Image-Werbung für die technische Seite der Textilindustrie beizutragen².

2. Forschung im Rahmen einer Hochschule

Die Ausbildung bis zum Diplom eines ETH-Ingenieurs, Chemie-Ingenieurs oder -Chemikers sollte den erfolgreichen Absolventen befähigen, in der Industrie sofort eine technische Stellung zu übernehmen und nach entsprechender Erfahrung in leitende Position zu gelangen. Für zwei Bereiche wurde er jedoch normalerweise nicht ausgebildet: Der eine betrifft die Behandlung spezifischer Praxisprobleme, die eine Schule naturgemäß nicht vermitteln kann (wenn sie es versucht – es gibt dafür Beispiele im Ausland –, so kann das Resultat langfristig nicht befriedigen). Der andere Bereich ist die Forschungsausbildung, die erst während eines Nachdiplomstudiums oder einer Doktorarbeit erfolgt.

In dieser Zeit lernt der junge Absolvent an einem konkreten Problem die Methodik der Forschung kennen. Dabei kann es sich um eine Frage der sogenannten reinen Grundlagen- oder der angewandten Forschung handeln. Auf Grund des oben Gesagten ist diese Differenzierung bezüglich der Methodik hinfällig: Die Forschungssprache muß in beiden Richtungen die gleiche sein! In der Zielsetzung hingegen gibt es einen gleitenden Übergang von reinen Grundlagenproblemen, bei denen das Ziel einzig die Erkenntnis eines Naturphänomens als solches ist, bis zu Fragen, deren Lösung direkt große praktisch-technische Konsequenzen für die Wirtschaft haben kann.

Während die angewandte Forschung der industriellen Entwicklung, dem sogenannten *know-how*, nahesteht, vermittelt die Grundlagenforschung meistens das *know-why*. Die Industrie ist langfristig gesehen auf beides angewiesen – es ist buchstäblich kurzsichtig, dem *know-why* nur deshalb keine oder weniger Bedeutung beizumessen, weil die Distanz zur praktischen Realisierung größer ist!

Zunächst möchte ich jedoch mit diesem Beispiel auf ein äußerst wichtiges Phänomen eingehen, das für die heutige Forschung charakteristisch ist: Neue schöpferische Ideen basieren weitgehend auf der Fähigkeit, Informationen zu sammeln und im richtigen Moment zu verwerten. Die Informationsbeschaffung beginnt am eigenen Arbeitsplatz und muß auf die ganze Welt ausgerichtet sein. Bereits 1958 hat die Operations-Research-Gruppe des Betriebswissenschaftlichen Institutes (Engineering Administration Department) am Case Institute of Technology in Cleveland in einer groß angelegten Fallstudie³, die etwa 70% aller Chemiker der American Chemical Society umfaßte, abgeklärt, auf welche Tätigkeiten sich die Arbeitszeit wissenschaftlich tätiger Hochschul- und Industriechemiker verteilt. Dabei ergab sich nicht das wohlvertraute Bild des Chemikers mit dem

² Die Publizitätsstelle der Schweizerischen Baumwoll- und Stickereiindustrie in St. Gallen ermöglichte in verdankenswerter Weise diese willkommene Auflockerung des Unterrichts.

³ *An Operation Research Study of the Scientific Activity of Chemists, Operations Research Group, Eng. Adm. Dept., Case Institute of Technology, Cleveland (Ohio), November 1958.*

Reagensglas am Laborkorpus als dominant: dafür braucht der amerikanische Industriechemiker nur rund 26% seiner Zeit, wie Tabelle 1 zeigt. Auffallend ist der hohe Prozentsatz der wissenschaftlich-technischen Information (32,9%). Rund einen Drittel seiner Zeit benötigt ein Chemiker zur Beschaffung, Verarbeitung und Weitergabe schriftlicher und mündlicher Informationen in Form von Besprechungen, Diskussionen, Literaturstudium, Vorträgen usw.

Tabelle 1. Aufteilung der Tätigkeit amerikanischer Chemiker in der Forschung

| | |
|--|-------|
| Wissenschaftlich-technischer Informationsaustausch | 32,9% |
| Geschäftlich-organisatorischer Informationsaustausch | 8,0% |
| Überlegung und Planung eigener Arbeit | 1,9% |
| Experimentelle Arbeit | 25,9% |
| Verarbeitung experimenteller Resultate | 9,2% |
| Private und soziale Tätigkeit | 6,6% |
| Tätigkeit außerhalb der Gruppe (Abteilung) | 15,5% |

Diese Fallstudie wirft eine Reihe weiterer Fragen auf. Insbesondere wäre es interessant, zu wissen, wie die entsprechenden Verhältnisse in der Schweiz sind. Eine solche Untersuchung ist im Gange⁴.

Unabhängig vom Resultat derartiger Untersuchungen in der Schweiz ist es bestimmt nützlich, wenn wir ein besseres Verständnis der Methoden der Informationsbehandlung und -verarbeitung bei Chemikern erreichen können. Von sich aus und ohne Kenntnis der Resultate der Autoren des Berichtes der Operations Research Group in Cleveland kamen meine Mitarbeiter – Assistenten und Doktoranden – 1969 zum selben Schluß:

Im Interesse der inderdisziplinären Weiterbildung meiner Mitarbeiter führen wir seit einigen Jahren jeweils im März ein sogenanntes Hochgebirgsseminar in einer Skihütte oberhalb Lenzerheide durch. 1969 behandelten wir dort während vier Tagen unter der Leitung eines Elektroingenieurs und eines Festkörperphysikers das Thema Forschungsplanung und -management. Eines der Resultate dieses Seminars war das allgemeine Bedürfnis, unsere interne gegenseitige Information zu verbessern: In vier nach Forschungsthemen geordneten Gruppen, von denen sich jede alle zwei Wochen zu vorbestimmten und allgemein bekanntgegebenen Zeiten in unserem Seminarraum trifft, berichtet jeder Mitarbeiter über seine Resultate, Pläne und Probleme. Alle Mitarbeiter – auch diejenigen anderer Gruppen – haben das Recht, an diesen Besprechungen teilzunehmen. Zudem berichten in einem zweitägigen Semesterseminar, also zweimal jährlich, zusammenfassend alle Mitarbeiter über ihre Arbeit. Auf diese Weise hat jeder die Möglichkeit, zu wissen, wer von uns über welche Problemkreise Bescheid weiß; jeder hat Gelegenheit, sich durch Resultate, Arbeitsmethodik und Pläne für seine eigenen Probleme Anregungen zu neuen Ideen geben zu lassen.

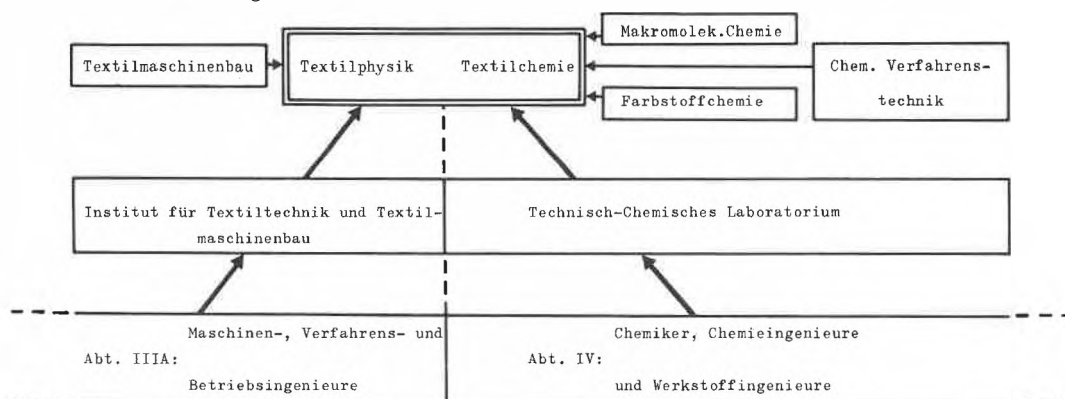
Man mag sich fragen, ob es richtig ist, mit einer Hochschulforschungsgruppe, die mehrheitlich aus Doktoranden, d. h. 24- bis 27jährigen Chemikern, zusammengesetzt ist, ein Seminar für Forschungsplanung und -management durchzuführen. Die praktische Erfahrung mit diesem Seminar führte aus zwei Gründen eindeutig zu einer Bejahung: Einerseits bin ich aus der am Anfang dieses Artikels geschilderten Beurteilung der heutigen wirtschaftlich-soziologischen Verhältnisse der Welt überzeugt, daß das Verständnis für Führungsprobleme *früh* geweckt werden muß; andererseits zeigte jenes Seminar außer der bereits erwähnten Lösung der Frage des Informationsaustausches weitere positive Folgen: Vor allem kamen meine Mitarbeiter und ich unabhängig voneinander zum Schluß, daß über uns selbst eine Fallstudie gemacht werden sollte! Dank der Zusage von Prof. Dr. W. DAENZER, Direktor des Betriebswissenschaftlichen Institutes (BWI) der ETH führte er selbst mit einigen seiner Mitarbeiter diese Untersuchung durch. Es handelt sich dabei vermutlich um die erste derartige Untersuchung über ein chemisches Hochschulforschungsinstitut in Europa⁵.

Ausgehend von einer Multimomentuntersuchung ergab diese Fallstudie weitere Verbesserungen des «Wirkungsgrades» unserer Tätigkeit. Wir führen den Erfolg einerseits auf das Geschick und die Erfahrung der damit betrauten Mitarbeiter des BWI, andererseits aber auf die Vorbereitung durch das erwähnte Seminar zurück: Jenes Seminar hatte uns vom Nutzen einer solchen Untersuchung überzeugt: sie wurde deshalb nicht – wie das von anderen Fallstudien bekannt ist – als Einbruch in die persönliche Sphäre empfunden; vielmehr war von Anfang an eine konstruktive Mitarbeit aller «Objekte» der Untersuchung offensichtlich zu erkennen. Es zeigte sich sogar, daß einige z. B. in Brainstorming-Sessionen erarbeiteten Konzepte später geändert werden mußten, weil sie zu stark durch Begeisterung statt durch Realismus geprägt waren.

Daß damit angehende Chemiker aus praktischer Erfahrung, wenn auch nicht in systematischer Weise, mit den Betriebswissenschaften etwas vertraut werden, wird ihnen für ihre spätere Tätigkeit, wo immer es nur sei, bestimmt nützen. Es ist klar, daß die Berücksichtigung derartiger Gesichtspunkte wie auch der interdisziplinären Horizontserweiterung auf Kosten der für die Forschungsarbeiten auf unseren Spezialgebieten zur Verfügung stehenden Zeit geht. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, ist diese Arbeitsmethodik in der Chemie als ausgesprochen forschungsintensivem Gebiet noch nicht sehr häufig anzutreffen. Ich bin jedoch überzeugt davon, daß sie langfristig nötig ist für die Ausbildung unserer Absolventen wie auch zur Erzielung wirklich neuartiger Forschungsergebnisse, die über die Perspektive des Fachspezialisten hinaus Bedeutung haben.

Langfristig gesehen ist das Problem des sogenannten Fachspezialisten besonders für die Hochschulausbildung und -forschung von größter Bedeutung: Mit der tech-

Tabelle 2. Textiltechnologie an der ETH Zürich



nologischen Entwicklung der letzten Jahrzehnte ist eine Spezialisierung und Arbeitsteilung nötig. Zwar wachsen die objektiven Auswahlmöglichkeiten des Menschen auf allen Gebieten ständig an. Aber die unumgängliche Spezialisierung verringert seine Fähigkeit, zwischen den Alternativen nach eigenem Urteil wählen zu können; die subjektive Autonomiesphäre wird kleiner. Immer mehr sind wir auf Vertrauen in andere Spezialisten angewiesen. Sozialpsychologisch erwachsen daraus bei manchen Gruppen Unsicherheitsgefühle, die meines Erachtens die bewußte oder unbewußte Ursache mancher Aggressionserscheinungen unserer Zeit sind.

Derartige Überlegungen veranlaßten uns 1971, für unser Hochgebirgsseminar Herrn Dr. R. SCHLÄPFER, Direktor des Kantonalen Lehrerseminars Liestal, für einen Kurs über das Thema «Sozialpsychologische Voraussetzungen der Team-Arbeit» einzuladen.

Dieser Kurs diente nicht zuletzt dazu, neue Denkmethode, die eine ganzheitliche Erfassung der Dinge erlauben, zu erarbeiten, und zu zeigen, daß eine Erziehung des Menschen zum generellen, horizontalen und multidisziplinären Denken ebenso wichtig ist wie das vertikale, sektorweise spezialisierte Betrachten der Vorgänge um uns.

Neben diesen Seminaren, welche gebietsmäßig eindeutig nicht chemiespezifisch sind, führten wir in den anderen Jahren seit Einführung dieser Hochgebirgsseminar-Kurse über chemische Themen durch. Jene Kurse betrafen aber bewußt ein breiteres Gebiet der Chemie, als es vom Gesichtspunkt der Farbstoff- und Textilchemie im eigentlichen Sinne nötig wäre. Zudem werden sie in einer Atmosphäre durchgeführt, die wohl anregend für neue Ideen sein soll, die aber nach Möglichkeit eine Überfütterung mit neuen Ideen vermeidet: Der einzelne muß die Gelegenheit haben, die Ideen innerlich zu verarbeiten und in irgendeiner Weise auf seine konkreten beruflichen Aufgaben anzuwenden.

Daß gerade in der Chemie der Prozeß der Informationsaufnahme über die Ideenentwicklung bis zur Realisierung konkreter Resultate im Laboratorium motivationspsychologisch von größter Bedeutung ist, zeigen die klassischen Beispiele der beiden Träume von AUGUST

KÉKULÉ, welche ihn vor mehr als 100 Jahren zur Postulierung der Vierwertigkeit des Kohlenstoffs einerseits, der Struktur des Benzols andererseits führten. Bestimmt hat die Intuition auch heute, im Zeitalter der Automation und der Computer, gerade beim Forschungschemiker ihre Bedeutung nicht verloren!

Mit dem Begriff der Intuition nahe verwandt ist die Kreativität. Eines der wichtigsten Resultate der modernen Management- und Arbeitspsychologie ist die Erkenntnis, daß Kreativität durch starre Organisationen enorm gehemmt wird. Dies gilt sowohl für die industrielle wie für die Hochschulforschung, aber natürlich auch für Arbeitsgruppen mit anderen Zielsetzungen als die Forschung⁶.

3. Die gegenwärtige Farbstoff- und Textilforschung am Technisch-Chemischen Laboratorium der ETH Zürich

Es ist nützlich, wenn die Durchführung der vorher besprochenen Prinzipien in der Praxis anhand der Besprechung der Verhältnisse in einer konkreten Forschungsgruppe behandelt werden.

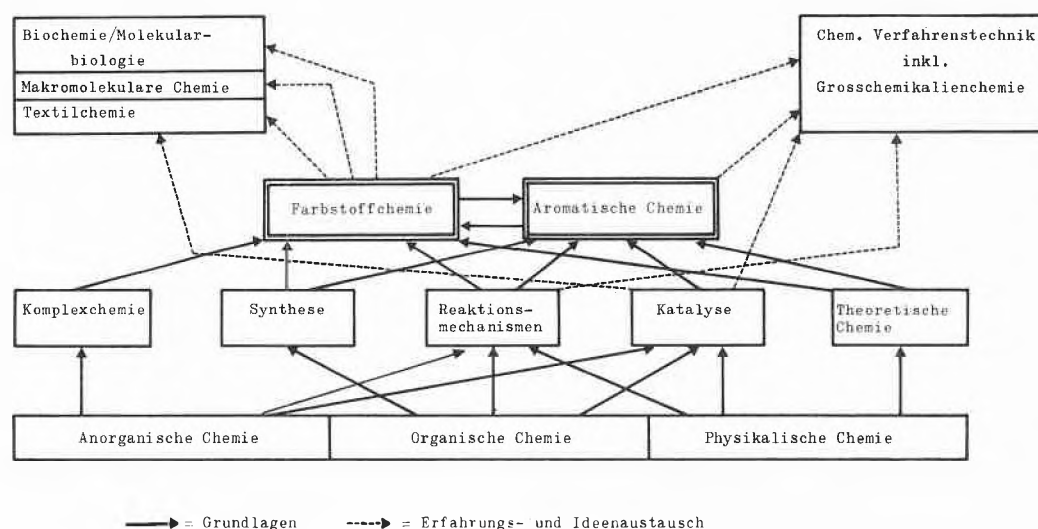
Zunächst soll anhand von zwei schematischen Darstellungen erläutert werden, wie die multidisziplinäre Zusammenarbeit der Forschungsgruppe für Farbstoff- und Textilchemie in die Struktur der ETH eingegliedert ist. Eine graphische Darstellung dieser Verhältnisse ist allerdings auf einem Strukturdiagramm schwierig, weil sie grundsätzlich nicht zwei-, sondern mehrdimensional dargestellt werden sollte. Tabelle 2 erläutert die Zusammenhänge der *textilchemischen* Forschung. Sie gehört in den Gesamtrahmen der Textiltechnologie, welche sich an der ETH neben dem textilchemischen Labo-

⁴ R. RENOLD, Diss. ETH, in Vorbereitung (Betriebswissenschaftliches Institut und Technisch-Chemisches Laboratorium der ETH Zürich).

⁵ Unseres Wissens existieren bis jetzt erst Fallstudien von staatlichen Instituten, die ausschließlich Forschungs-, aber keine Unterrichtsaufgaben haben, z. B. von der Strahlenchemiegruppe des Max-Planck-Institutes für Kohlenforschung in Mülheim (Ruhr), vgl. H. ERHARDT, *Arbeitsstudien in der Forschung*, Report Nr. 80 der Studiengruppe für Systemforschung, Heidelberg 1966.

⁶ Y. DUNANT, Referat an der Generalversammlung der Sandoz AG, Basel, April 1971.

Tabelle 3. Wo steht die Farbstoffchemie heute?



ratorium auf das Institut für Textiltechnik und Textilmaschinenbau (Professor H. KRAUSE) stützt.

Diese beiden Institute treffen sich auf dem Gebiete der Textiltechnologie. Beide Institute sind aber dadurch charakterisiert, daß sie auch angrenzende Lehr- und Forschungsbereiche mitumfassen: beim Institut für Textiltechnik ist es der Textilmaschinenbau, bei uns die Farbstoffchemie und die ihr zugrunde liegende aromatische Chemie sowie die makromolekulare Chemie als Grundlage der Chemie sämtlicher Textilfasern.

Die Tabelle 3 soll die Frage «Wo steht die Farbstoffchemie heute?» zu beantworten versuchen: Auf den engen Zusammenhang mit den Grundlagenfächern anorganische Chemie, organische Chemie und physikalische Chemie wurde bereits oben hingewiesen. Die aromatische Chemie wurde in der Tabelle 3 als Schwesterdisziplin neben die Farbstoffchemie gestellt. Wenn damit der Eindruck erweckt würde, daß die aromatische Chemie aus dem Rahmen der allgemeinen organischen Chemie herausgenommen würde, so ist dies ein Fehlschluß, welcher einzig auf die Unzulänglichkeiten einer graphischen Darstellung zurückzuführen ist: Selbstverständlich gehört die aromatische Chemie als integrierender Bestandteil zur organischen Chemie; sie soll jedoch vertikal behandelt werden, d. h. von den Grundlagen bis in die Anwendungen durchgezogen werden. Dasselbe gilt selbstverständlich auch für andere, hier nicht dargestellte Teilgebiete der anorganischen, organischen und physikalischen Chemie.

Durch die gestrichelten Pfeile soll angedeutet werden, daß Farbstoff- und aromatische Chemie nicht nur um ihrer selbst willen betrieben werden sollen, sondern auch anregend auf die links und rechts oben angegebenen Gebiete der angewandten Chemie wirken können.

Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn Farbstoff- und aromatische Chemie in enger Wechselwirkung mit den fünf auf der zweiten Stufe aufgeführten methodischen Gebieten der Chemie, d. h. der Komplexchemie,

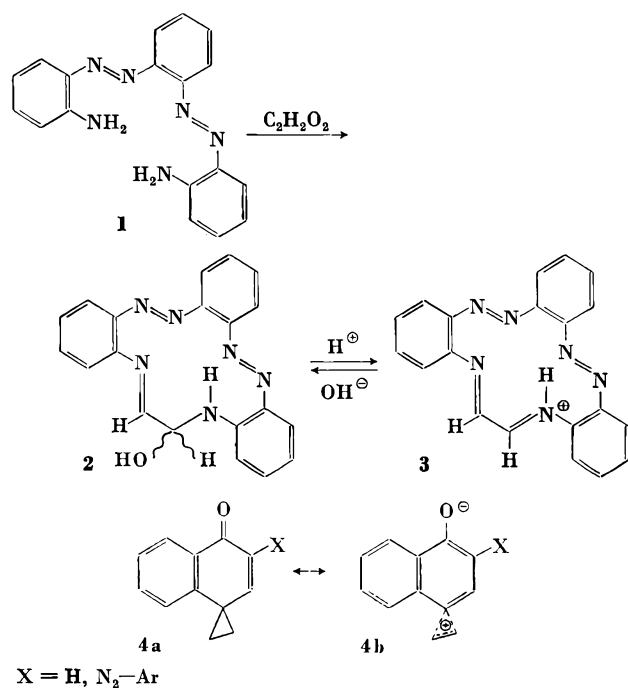
der Synthese, der Reaktionsmechanismen, der Katalyse und der theoretischen Chemie behandelt werden. Eine solche Betrachtungsweise kann dazu führen, daß ein Problem aus der aromatischen Chemie grundsätzlich auf Katalyseprobleme zurückgeführt wird und die daraus resultierende Erfahrung sich sowohl in der Textil- wie in der Großchemikalienchemie auf nicht aromatische Probleme anwenden läßt.

Im Zusammenhang mit dem Problem des Informationsaustausches wurden bereits die vier nach Forschungsthemen geordneten Gruppen erwähnt. Die abstrakte Darstellungsweise der Tabelle 2 und 3 soll im folgenden anhand von Beispielen aus diesen vier Gruppen kurz konkretisiert werden:

1. Die reaktionsmechanistische Gruppe befaßt sich mit der Untersuchung der Mechanismen organisch-chemischer Reaktionen mittels physikalisch-chemischer Methoden, insbesondere der Reaktionskinetik und der Instrumentalanalyse. Sie liefert damit die Grundlagen für die Optimierung von technischen Reaktionsabläufen, die ihrerseits Gegenstand der Gruppen für chemische Verfahrenstechnik des Technisch-Chemischen Laboratoriums (Professoren BOURNE, HARTLAND, IBL, RICHARZ und RIPPIN) bilden.

Als Beispiel eines Forschungsthemas dieser Gruppe seien Untersuchungen über den Mechanismus aromatischer Nitrierungen und ihrer Reaktionsprodukte erwähnt: Seit nicht weniger als 101 Jahren ist es bekannt, daß Durol, d. h. 1,2,4,5-Tetramethylbenzol, bei der Nitrierung mit einem Äquivalent Nitriermittel nicht wie erwartet Mononitrodurol in hoher Ausbeute, sondern knapp 50% Dinitrodurol und unverändertes Durol ergibt. Auf Grund der allgemeinen Erfahrung wie auch der Theorie der aromatischen Substitution würde man erwarten, daß die zweite Nitrogruppe viel langsamer eingeführt wird und daß es deshalb ohne weiteres möglich sein sollte, in hohen Ausbeuten Mononitrodurol zu erhalten.

Es gelang nicht nur, durch eine scheinbare unwesentliche Veränderung der Reaktionsbedingungen – nämlich die Zugabe von kleinen Mengen Wasser – Mononitrodurol in bis zu 80prozentiger Ausbeute zu erhalten, sondern auch die Ursachen der unter konventionellen Bedingungen so merkwürdig hohen Dinitrodurolbildung abzuklären: Durol ist eine so hoch reaktive Verbindung, daß die Nitrierung mischungskontrolliert wird; obschon die Reaktion, makroskopisch gesehen, in homogener Phase verläuft, ist sie mikroheterogen. Das bedeutet, daß die Mischung eines zugegebenen Tropfens von Nitriermitteln mit der Durolösung längere Zeit braucht als die Reaktion selbst⁷.



2. Die organisch-synthetische Gruppe steht der eigentlichen Farbstoffchemie am nächsten. Es kann meines Erachtens jedoch grundsätzlich nicht Aufgabe eines Hochschulforschungsinstitutes sein, mit der gleichen Zielsetzung Farbstoff-Forschung zu betreiben wie dies die wissenschaftlichen Abteilungen der Farbstoffindustrie tun. Wir machen deshalb keine Forschung innerhalb bestehender Farbstoffsortimente, sondern suchen nach neuartigen Verbindungen, die potentiell für Farbstoffe interessant sein könnten. Als Beispiel, das gleichzeitig von Bedeutung für das Gebiet der sogenannten nichtbenzolartigen aromatischen Verbindungen ist, seien die unter der Leitung meines Oberassistenten Dr. SKRABAL hergestellten Azaannulene genannt⁸. Annulene sind konjugierte makrozyklische Ringe, von denen SONDEIMER in den letzten zehn Jahren zeigen konnte, unter welchen Voraussetzungen sie aromatischen Charakter haben. Da bis heute praktisch noch keine echten heterozyklischen Verbindungen mit Annulenecharakter entwickelt worden sind, haben wir Arbeiten auf diesem Gebiete aufgenommen. Die Verbindung 3 entspricht in bezug auf

ihren mittleren Ring einem 14gliedrigen protonierten Hexaazaannulene. Die Anordnung der Stickstoffatome läßt interessante Zusammenhänge zu Azofarbstoffen, z. B. zum Ausgangsprodukt 1, erkennen. Die Synthese mit Glyoxal führte überraschenderweise zu einem sehr stabilen Carbinolamin, der Verbindung 2. Dies ist deshalb merkwürdig, weil Carbinolamine sehr leicht hydrolytisch gespalten werden. Die nähere Untersuchung mit Hilfe von Kernresonanz-, Ultraviolett- und sichtbaren Spektren ergab, daß der 14-Ring trotz des Vorhandenseins eines sp^3 -Kohlenstoffes durchkonjugiert ist. In anderen Worten: Das Orbital des p -Elektronenpaares an der NH-Gruppe überlappt mit dem π -Orbital am sp^2 -Kohlenstoff des ursprünglichen Glyoxals, «überspringt» also gewissermaßen den anderen (tetraedrischen) Kohlenstoff des Glyoxals.

Mit dem Problem des aromatischen Charakters konjugierter Verbindungen befaßt sich auch eine Untersuchung über Spirodienone des Typs 4: Die durch 4b charakterisierte naphtholatartige Grenzstruktur läßt sich nicht nur instrumentalanalytisch nachweisen⁹, sondern auch präparativ ausnützen: diese Verbindungen können als Kupplungskomponenten für Azofarbstoffe gebraucht werden. Solche Azofarbstoffe haben wegen der Möglichkeit der Ringöffnung des Cyclopropanrings den Charakter von Reaktivfarbstoffen¹⁰.

3. Die Gruppe Diffusion und Adsorption beschäftigt sich primär mit dem Grundproblem aller Textilveredlungsoperationen: Textilchemikalien – seien es nun Farbstoffe, Antistatika, optische Aufheller oder andere Textilchemikalien – müssen, um wirksam zu sein, von den Textilfasern durch physikalische oder chemische Kräfte adsorbiert werden. In den meisten Fällen sollen die chemischen Verbindungen nicht nur an die Faseroberfläche gebunden werden, sondern sollen zuerst in das Innere diffundieren. Dieses Arbeitsgebiet ist gegenwärtig bei uns in starker Entwicklung begriffen.

P. B. WEISZ zeigte vor einigen Jahren, daß die Diffusions- und Adsorptionsphänomene von Färbeprozessen und der heterogenen Katalyse von chemischen Reaktionen in der Gasphase, wie sie in Erdölraffinerien auftreten, auf eine gemeinsame physikalische Grundlage, das sogenannte Porenmodell, zurückgeführt werden können¹¹. Man kann damit z. B. erklären, warum es so schwierig ist, unter konventionellen Bedingungen Polyesterfasern innert nützlicher Frist homogen durchzufärben: Polyesterfasern quellen in Wasser außerordentlich wenig, das Porenvolumen ist deshalb sehr klein. Dies erschwert die Farbstoffdiffusion ins Innere der

⁷ P. RYS, Habilitationsarbeit ETH Zürich 1970.

⁸ P. SKRABAL und H. ZOLLINGER, *Helv. Chim. Acta* 54 (1971) 1069.

⁹ P. RYS, P. SKRABAL und H. ZOLLINGER, *Tetrahedron Letters* 21 (1971) 1797.

¹⁰ R. VOGELSANGER, Diss. ETH Zürich 1971.

¹¹ P. B. WEISZ, Diss. ETH Zürich 1966; P. B. WEISZ, J. S. HICKS und H. ZOLLINGER, *Trans. Faraday Soc.* 63 (1967) 1801, 1807, 1815, 64 (1968) 1693; *Melliand Textilber.* 48 (1967) 70.

Faser, da Farbstoffe rascher durch mit Wasser gefüllte Poren als durch den Festkörper wandern.

In ähnlicher Weise läßt sich das Aufziehen eines Gemisches von zwei Farbstoffen behandeln. Dort weiß man aus der Praxis, daß sich die beiden Farbstoffe zusammen oft anders verhalten als die Einzelkomponenten. Die exakte mathematische Behandlung der Konkurrenzadsorption von zwei Farbstoffen erforderte einen Aufwand von nicht weniger als 40 Rechenstunden auf einem Hochleistungscomputer¹².

Ein Charakteristikum vieler empirisch entwickelter technologischer Prozesse liegt darin, daß sie sogenannte Vielparametersysteme darstellen; ihre exakte Erfassung ist für das *know-why* notwendig. P. RYS⁷ hat diese Probleme analysiert und gezeigt, daß das Aufziehen von kationischen Farbstoffen auf Polyacrylnitrilfasern, die Fixierung der Reaktivfarbstoffe auf Baumwolle und die Carrierwirkung beim Polyesterfärben mit den gleichen physikalischen Grundlagen gedeutet werden können wie die Vorgänge bei der katalytischen Hydrierung und bei der bereits erwähnten Nitrierung von Durol, d.h. bei chemischen Reaktionen, die in heterogener Phase oder in einer pseudo-homogenen Mischung ablaufen. Auf dieser Grundlage war es in der Folge möglich, das schwierige Problem der stereospezifischen Hydrierung von Carbonylgruppen mit Hilfe von Nickelkatalysatoren in Angriff zu nehmen¹³.

4. Die Textilveredlungsgruppe befaßt sich mit den Grundlagen textilchemischer Prozesse. In den letzten Jahren hat uns insbesondere die Pflegeleichtausrüstung von Baumwolle beschäftigt: Zunächst war es die Frage, wie man mit Methoden der chemischen Strukturaufklärung exakt beweisen kann, daß Bügelfreiprozesse und ähnliche Verfahren auf einer chemischen Vernetzung von Cellulosemolekülen beruhen¹⁴. Dies führte zu einem interessanten Gedanken- und Erfahrungsaustausch mit dem Institut für allgemeine Botanik der ETH, welches sich mit der elektronenmikroskopischen Strukturaufklärung von pflanzlichen Zellwänden befaßt. Umgekehrt läßt sich aus den neuesten Ergebnissen der Festkörperphysik makromolekularer Stoffe mit ziemlicher Sicherheit voraussagen, daß es grundsätzlich möglich sein sollte, Textilfasern mit wesentlich höheren Festigkeitseigenschaften zu erhalten. Voraussetzung dafür ist eine optimale Anordnung der Makromoleküle im festen Zustand.

So versteht sich, daß diese Textilveredlungsgruppe sowohl mit der Diffusions-Adsorptions-Gruppe wie auch der physikalisch-organischen Arbeitsgruppe engen Zusammenhang hat.

Das Gewicht, welches wir der interdisziplinären Horizontserweiterung beimessen, ging bereits aus der Besprechung der Tabellen 2 und 3 hervor. Es ist heute populär, von Begriffen wie «Ganzheitsdenken», «interdisziplinär» u.a. zu sprechen. Aber gerade ein Hochschuldozent – ein Lehrer! – sollte dabei eine scheinbare triviale Grundlage der Pädagogik nicht vergessen: die

erzieherische Wirkung des Vorbildes. Diese Überlegung ist einer der Gründe, warum ich persönlich zusammen mit Prof. Dr. T. EBNETER, einem Linguisten der Universität Zürich, versuche abzuklären, ob zwischen technischer Farbmetrik der Physik, Photochemie und Neurophysiologie des Farbensehens des Menschen einerseits, der Anthropologie und Linguistik der Farbempfindung andererseits Zusammenhänge erkennbar sind. Als psychologische Antwortfunktion des Farbensehens untersuchen wir die Farbnamengebung in europäischen und außereuropäischen Sprachen.

4. Beziehungen zwischen Hochschule und Industrie

Zum Schluß soll kurz das Verhältnis zwischen Hochschule und Industrie gestreift werden. Das hohe Ansehen, welches die chemische Hochschulforschung in der Schweiz genießt, ist in wesentlichen Punkten durch die seit Jahrzehnten gepflegte enge Zusammenarbeit mit der Industrie positiv beeinflusst worden. Umgekehrt darf man sicher auch sagen, daß die wirtschaftlichen Erfolge der schweizerischen chemischen Industrie stark durch die gute Hochschulausbildung der Angehörigen ihrer Forschungsabteilungen geprägt ist.

Umgekehrt ist die Zusammenarbeit zwischen Wirtschaft und Hochschule im allgemeinen und für die Chemie im besonderen in den letzten Jahren von gewissen Kreisen heftig kritisiert worden.

Die Erfahrungen in der Zusammenarbeit zwischen Professoren, Assistenten, Studenten und Hochschulangestellten, welche an der ETH Zürich im Rahmen der Reformkommission der Übergangsordnung gesammelt werden konnten, zeigen jedoch, daß ein gegenseitiges Verständnis auch in diesen Fragen möglich ist. Die Kommission ist der Ansicht, daß Beziehungen von Forschungsgruppen und Instituten sowie von Dozenten zur Industrie und anderen außerhalb der Hochschule stehenden Kreisen des In- und Auslandes im Interesse einer fruchtbaren Lehr- und Forschungstätigkeit erwünscht sind.

Voraussetzung für fruchtbare Beziehungen zwischen den verschiedenen Gruppen innerhalb einer Hochschule wie auch zu Kreisen außerhalb der Hochschule ist jedoch der Wille zu Zusammenarbeit von allen Seiten sowie Ehrlichkeit und Offenheit in den Beziehungen, die man intern in der Hochschule und extern pflegt. Der größte Teil von Spannungen und Kritik läßt sich durch Offenheit und Ehrlichkeit vermeiden. Dadurch ist es auch leichter möglich, die Arbeit der Hochschulen in Lehre und Forschung den Entwicklungen der menschlichen Situation ständig erneut anzupassen und dadurch zu verhindern, daß Hochschulen und Institute in einem engen zunftmäßigen Denken erstarren.

¹² R. OTT, Diss. ETH Zürich 1971.

¹³ D. O. HUBBELL und P. RYS, *Chimia* 24 (1971) 442.

¹⁴ S. PATEL, J. RIVLIN, T. SAMUELSON, O. A. STAMM und H. ZOLLINGER, *Text. Res. J.* 38 (1968) 226; K. HEINISCH, A. KATAYAMA, H. K. ROUETTE, A. WEHNER und H. ZOLLINGER, *Textile Chem. Col.* 2 (1970) 391.