

DIE WECHSELWIRKUNG ZWISCHEN CHEMISCHEN UND MASCHINENBAU-, CHEMIE- UND ELEKTROINGENIEURSWISSENSCHAFTEN*

Von

M. KORACH

I.

Neuerdings wird die Wechselwirkung zwischen den Wissenschaften auch deshalb immer lebhafter diskutiert, weil schon die exponentielle Beschleunigung in der Entwicklung der Produktion allein mit so großen neuen Forschungsansprüchen auftritt, daß sich die Wissenschaften, die früher — jede für sich — ihre eigenen Wege gingen, schon deshalb notgedrungen miteinander verflechten müssen. Neue Grenzwissenschaften entstehen fast von einem Tag auf den anderen. Das Bewußtsein von der Einheit der Wissenschaften und die bewußte Pflege dieser Einheit gewinnt mehr und mehr an Boden. Die älteren Gegensätze zwischen den einzelnen Wissenschaften, in denen der Kampf zwischen Idealismus und Materialismus — oder um es weniger banal auszudrücken —, der Kampf zwischen Apriorismus und objektiver Realität eine große Rolle spielte, löste sich in eine zunehmend harmonische und umfassende Anschauungsweise auf, und parallel dazu wurde die Gesamtheit der Wissenschaften unmittelbar zur geschichtsformenden Kraft.

Ich würde mich von meiner gesamten Lebenserfahrung abwenden, wollte ich versuchen, die Wechselwirkung zwischen den Wissenschaften als etwas naiv Idyllisches darzustellen. Dies bezieht sich auch auf mein heutiges Thema, auf die Gegensätze und Zusammenhänge zwischen einzelnen technischen Wissenschaften und der Chemie, weil sich in dieser Wechselwirkung eben ihre Einheit manifestiert. Die erwähnte Strömung zur Harmonie zwischen den Wissenschaften hin kann ich nur als Folge der auch in der menschlichen Gesellschaft fühlbaren ähnlichen Strömung auffassen, weshalb es m. E. nur zu natürlich ist, daß sich die in diesen letzteren auftretenden, der Haupttrichtung oft entgegengesetzten Turbulenzen auch in den Wissenschaften zeigen. Und tatsächlich zeichnen sich diese Gegensätze in dem von uns behandelten Falle gleichfalls scharf ab. Vor kurzem hatte ich Gelegenheit, in einer in England erschienenen Studie [1] einen solchen Widerspruch zwischen den theoretischen und technischen Wissenschaften zu analysieren und darauf hinzuweisen, daß es sich um einen uralten Widerspruch, um den Gegensatz zwischen *Homo*

* Vortrag anlässlich der Wissenschaftlichen Tagung der Budapester Technischen Universität am 9. und 10. September, 1965.

faber und *Homo sapiens* handelt. Daß er eher mit den Bewegungen in der Gesellschaft zusammenhängt, habe ich soeben nur flüchtig berührt; um so mehr möchte ich jetzt betonen, daß dieser Widerspruch im Ausland ebenso tobt, wie hier bei uns, innerhalb der Mauern der Technischen Universität. So ist z. B. auch der noch immer tobende Kampf um die Unterrichtsreform als eines der kennzeichnendsten Symptome dieses Widerspruches zu betrachten.

Nun wäre es aber mit dem Gewissen keineswegs vereinbar, wollten wir dies oder auch nur die pragmatische Analyse der Gegensätze beiseite schieben. Es sei mir deshalb gestattet, auf die große Rolle hinzuweisen, die hierbei die verschiedenen wissenschaftlichen Auffassungen, der kulturelle, humanitäre Horizont der einzelnen Wissenschaftler, ihr individuelles Schicksal, ihre Nationalität, ihre Vorurteile und Leidenschaften, in erster Linie aber ihre gesellschaftlichen Auffassungen spielen, d. h. alles das, was wir unter dem Begriff »seelische Struktur« zusammenfassen können. Oft mache ich die Erfahrung, daß z. B. wissenschaftliche Eitelkeit — auch die gibt es —, mit einer ganz anderen, oft gerade entgegengesetzten Erkenntnistheorie einhergeht als die wissenschaftliche Demut. Zusätzlich wird die Analyse noch durch die unklare Terminologie kompliziert, die sich im Laufe der Entwicklung ausgebildet hat und die diese Widersprüche oft frappant reflektiert, eine Terminologie, die von der herrschenden Tradition dem aufkommenden Neuen auch dann noch lange aufgedrängt wird, wenn die objektive Realität ihre Unhaltbarkeit längst entlarvt hat. Zur besseren Beleuchtung meines Themas möchte ich einen solchen typischen Gegensatz zwischen Realität und Fachausdrücken hier in erster Linie behandeln.

2.

Die Maschinenbau-, Chemie- und Elektroingenieurwissenschaften nennt man im allgemeinen »technische Wissenschaften«. Indes wird selbst der *relativ* selbständige wissenschaftliche Charakter dieser Wissenschaftszweige von vielen verneint (relativ deshalb, weil — wie gezeigt — von ganz selbständigen Wissenschaften zu sprechen, heute bereits eine Selbsttäuschung wäre), u. zw. geschieht es meist mit der Begründung, sie seien nur »Anwendungen« der sogenannten »grundsätzlichen Wissenschaften«. Die grundsätzlichen Wissenschaften — wie z. B. die Physik, Chemie, Mathematik, die hier eine Rolle spielen —, werden auch »Grundwissenschaften«, die technischen Wissenschaften auch »angewandte Wissenschaften« genannt, worin sich die erwähnte Auffassung spiegelt. Gleichfalls an diese Auffassung erinnert die Degradierung des Wortes »Technologie« oder des Ausdruckes »Wissenschaft der Technik« zum »praktischen Verfahren«. Nun könnte man fragen — und diese Frage wurde auch gestellt —, wozu man dann gesonderte technische Studien, eigene technische Universitäten braucht. Lehren wir unsere Jugend — so denken einzelne —, Chemie, Physik und Mathematik und überlassen wir es ihnen, das Gelernte anzuwen-

den. Diese Auffassung verkörpert z. B. das Buch von Kirkbridge [2], welches nach dem Kriege unter dem Titel »Chemical Engineering Fundamentals« erschienen ist, und diese gleiche Auffassung war es, die auch auf unserer Technischen Universität dafür eintrat, die Allgemeine Chemische Technologie, meines Erachtens das Rückgrat der Ausbildung von Chemieingenieuren, hauptsächlich zugunsten der sog. »Chemischen Grundwissenschaften« zu liquidieren. Die Offensive ist zwar steckengeblieben, doch verlangsamte sie in gewissem Grade das Zustandekommen einer wissenschaftlich richtigen technischen Anschauung am Budapester Lehrstuhl für Chemieingenieure.

Ich hatte wiederholt Gelegenheit [3], die spezifischen Gesetzmäßigkeiten und die spezifische Methodik der technischen Chemie als selbständiger Wissenschaft — deren Kern die allgemeine chemische Technologie bildet — darzustellen, doch möchte ich mich hier nicht damit befassen, da es nicht meine Aufgabe ist, die Eigenarten der technischen Wissenschaften darzulegen, sondern die Rolle der chemischen Wissenschaften — der allgemeinen, der anorganischen, der organischen und der Physiko-Chemie — in den technischen Wissenschaften und umgekehrt zu untersuchen. Nun ist aber die technische Chemie m. E. nicht eine der *chemischen*, sondern eben eine der *technischen* Wissenschaften. Diese Untersuchung wird hoffentlich auch geeignet sein, zur Ausmerzung der erwähnten überholten und irrigen Fachausdrücke, wie »Grundwissenschaft« und »angewandte Wissenschaft« beizutragen und die Wechselwirkung zwischen theoretischen und technischen Wissenschaften auch allgemein dem Verständnis etwas näher zu bringen. Schließlich wird, denke ich, unsere Untersuchung indirekt auch den Beweis erbringen, daß es sich bei den technischen Wissenschaften *nicht* einfach um »angewandte« handelt.

3.

Meiner Erfahrung nach ist das, was ich als »Kompliziertheits«- oder »Abstraktheitsspektrum« der Wissenschaften zu bezeichnen pflege, im Studium der Wissenschaft als kultureller Leistung bisher bei weitem nicht zur Geltung gekommen. Dies ist um so auffallender, als sich in den Vereinigten Staaten und in England unter dem Namen »Science of Science« — Wissenschaft der Wissenschaft — eine Forschungsrichtung zu verbreiten beginnt, die sich eben mit der »wissenschaftlichen« Analyse dieses Gegenstandes — der Wissenschaft — befaßt und die sich daher m. E. unter den ersten allgemeingültigen Merkmalen der Wissenschaft auch mit der Abstraktion, mit dem Spektrum der Abstraktion hätte befassen müssen, was jedoch nicht geschehen ist. Und doch ist es — wie wir sehen werden — der Grad der Abstraktheit, der den Zusammenhang zwischen theoretischen und praktischen — in unserem Falle zwischen chemischen und technischen — Wissenschaften und ihren Übergang ineinander am einfachsten erklärt.

Am linken äußersten Rand des Abstraktheitsspektrums der Wissenschaften steht die mathematische Analyse, weil diese ausschließlich mit der Individualität der Objekte, dem Zahlenwert der Mengen operiert, unabhängig von deren sonstigen — physikalischen, chemischen, physiologischen usw. — Eigenschaften. Äpfel, Brote und Hühner könne man nicht addieren, sagt man. Wenn man sie aber nur als individuelle Stücke betrachtet, und eine Köchin in ihrem Korb 10 Äpfel, 3 Brote und 2 Hühner vom Markt nach Hause trägt, dann dürften wir — auch wenn dies der Metrologie zum Ärgernis gereicht —, doch feststellen, daß sie 15 »Objekte« eingekauft hat. Derek de Solla Price, Professor der Wissenschaftsgeschichte an der Universität Yale, vergleicht in einer Arbeit [4] die Rechenkunst der Babylonier überzeugend mit der griechischen Geometrie, indem er ihren sich gegenseitig ergänzenden Charakter besonders herausstellt. Ich hingegen möchte hervorheben, daß die Geometrie im Vergleich zur Arithmetik innerhalb des Abstraktheitspektrums schon näher an dessen konkretem rechtem Rande steht; und es würde sich lohnen, darüber nachzudenken, ob es wohl purer Zufall war, daß sich mit dem abstrakteren zahlentheoretischen Spektrumabschnitt der Mathematik ein orientalisches, mit den konkreteren, plastischen, geometrischen Spektrumbanden hingegen ein Volk des Okzidents — das griechische — zu beschäftigen begann. Eine Linie hat nämlich nicht nur eine Größe — die Länge —, sondern auch eine *Gestalt*, und der Formensinn der Hellenen bedarf keines Beweises. Zieht man jedoch auch die *Richtung* einer Geraden in Betracht, dann haben wir es nicht mehr mit einer Linie, d. h. mit Länge und Gestalt, sondern mit einem *Vektor* zu tun, in dem auch etwas — und zwar nicht wenig — vom *Physikum* fühlbar wird. Über die Kinematik hinweg nimmt die Zahl der berücksichtigten Parameter im mechanischen Spektrumsektor noch mehr zu, während der Grad der Abstraktheit kleiner wird. Mit der Physik, dann der Akustik, Optik, Wärmelehre und in der Lehre vom Elektromagnetismus wird die berücksichtigte Parametermenge noch konkreter, noch reichhaltiger. Im großen und ganzen liegt der Schwerpunkt der Chemie noch etwas weiter rechts vom Tiefpunkt der Physik. Ihm folgen die Mineral- und Gesteinskunde, die Geologie, die praktischen — und unter ihnen die technischen —, dann die biologischen Wissenschaften und schließlich die noch kompliziertere Wirtschaftslehre und Soziologie.

Wir würden einen großen Fehler begehen, wenn wir versuchen würden, diese ziemlich rohe und schematische Aufzählung an die Stelle der lebendigen Realität des netzähnlich, kreuz und quer — und zwar dynamisch d. h. in fortwährender Bewegung und Entwicklung — ineinandergreifenden Zusammenhanges zwischen den Wissenschaften zu setzen. Jede solche Systematisierung (wie z. B. auch die Ordnung der Wissenschaften nach verschiedenen Abstraktheitsgraden) stellen nur Modelle dar: *das eingereichte Modell der Gesamtheit der Wissenschaftsmodelle*. Auch das Newtonschen Prisma zerlegt das Licht auf

ähnliche Weise in sein Spektrum, doch leuchten dessen Farben im Sonnenlicht vermengt und vereint. Ein solches Schema der Abstraktheit ist auch schon deshalb nur annähernd gültig, weil bekanntlich selbst verschiedene Abschnitte der Physik auf einem annähernd gleichen Abstraktheitsniveau stehen, da sie mit der gleichen Zahl von Parametern operieren. Die Statik z. B. abstrahiert von der Bewegung und arbeitet nur mit Kräften, während die Kinematik von den Kräften abstrahiert und sich nur mit Ortsveränderungen befaßt. Außerdem gibt es in ein und demselben komplizierten System auch einfache und komplizierte Zusammenhänge; und es würde sich vielleicht lohnen, sich in diese Frage von der Erkenntnistheorie her zu vertiefen: etwa die eventuellen Zusammenhänge zwischen Abstraktheitsgrad und Parameter zu studieren. Hier scheint es mir jedoch zu genügen, mich gegen die starre mechanische Verallgemeinerung der Abstraktheit zu verwahren.

Hiervon abgesehen aber, meine ich, daß die einfacher modellierenden Grundwissenschaften und unter diesen die Mathematik, Physik und Chemie für die komplizierter modellierenden technischen Wissenschaften gerade durch ihre *größere Schematisiertheit außerordentlich nützlich werden*. Indes wäre es weit verfehlt anzunehmen, daß diese Modelle das *vollständige technische Modell ersetzen* oder daß sie zumindest aus diesen abgeleitet werden könnten. Die riesenhaften hydroelektrischen Kraftwerke der Sowjetunion oder ihre Raumschiffe konnten nur durch gesteigertes, immer umfangreicheres und immer komplizierteres *stufenweises Modellieren* verwirklicht werden.

Und damit bin ich beim eigentlichen Kern meines Themas angelangt:

Welche Funktion versieht die Chemie in den technischen Wissenschaften und wie weit, bis in welche Tiefen reicht diese Funktion? Welche Rückwirkungen üben andererseits die technischen Wissenschaften auf die Chemie aus?

4.

Darüber, daß die Chemie unter den technischen Wissenschaften die größte Bedeutung für die Chemieingenieurwissenschaft besitzt, brauche ich wohl nicht viel Worte zu verlieren. Ebendeshalb wird es manche Überraschen, wenn ich auf die Tatsache verweise, daß auf dem heutigen Gebiet der technischen Chemie *die chemischen Einrichtungen zu 3/4 Teilen technischen und nicht chemischen Charakter tragen*. Dies brachte die Entwicklung der chemischen Industrie mit sich. In der chemischen Industrie des vergangenen Jahrhunderts waren die technischen Einrichtungen noch verhältnismäßig selten. An den Anfängen dieser Industrie stand noch eine Art von Küchenmethode, der »Topf«, ja einzelne chemische Produkte werden auch heute noch nach solchen Kochmethoden erzeugt. Die gewaltige Entwicklung der Petroleumindustrie hat jedoch einen neuen technischen Wissenschaftszweig, das sog. »process-engineering«, die chemische Verfahrenstechnik und damit zusammen auch

den Chemiemaschinenbau entstehen lassen. Neuerdings halten wir, zumindest hier in Ungarn, schon so weit, daß die aus der Elektrizitätslehre hervorgegangene Lehre von den Stromsystemen und das seit dem Krieg entwickelte »system-engineering«, d. h. die »industrielle Systemlehre« auch schon in der chemischen Industrie aufgetaucht sind, und daß wir uns auch mit einem technischen und mathematischen Wissenschaftszweig zu befassen beginnen, den man »flow-engineering«, d. h. Lehre von den chemischen Prozessen benannt hat. Es sind große, weitgehend moderne chemische Betriebe mit so hochgradiger Automatisierung entstanden, daß in einzelnen von ihnen kaum noch 3—4 Menschen arbeiten. Wollte man also die inneren Proportionen des geistigen Rüstzeuges in Betracht ziehen, das der *heutige* Chemieingenieur nötig hat, dann müßte man feststellen, daß sich der Anteil des physiko-mathematischen Wissens und des diesem näherstehenden technischen Wissens — Maschinenbau und Elektrotechnik — zum Anteil des Wissens von der Chemie und der chemischen Technologie bei den Chemieingenieuren wie 3 : 1 verhält. Offenbar weicht unser Ausbildungsgang für Chemieingenieure von diesen Anteilen noch weitgehend ab.

Das Betätigungsfeld des Chemieingenieurs ist der chemische Betrieb. Ein solcher Betrieb ist ein System, welches sich — abgesehen von den gemischten Übergangsapparatetypen — aus vier verschiedenen Typen von Einheiten zusammensetzt: aus den *Lagerbehältern*, den sogenannten *Allaktoren*, die zu physikalischen Umwandlungen, den sog. *Reaktoren*, die zu den chemischen Umwandlungen verwendet werden, und schließlich aus dem diese verbindenden, den Materialtransport besorgenden *Leitungen*. Jedes dieser Systeme kann durch einen sog. »gelenkten Graphen« modelliert werden, bei dem die Eckpunkte den Behältern, Allaktoren und Reaktoren — oder den Geräten mit gemischter Funktion —, die *Bogen* hingegen die die Eckpunkte verbinden, den Leitungen entsprechen [5]. Nun aber zeigen die Graphen der modernen chemischen Betriebe, daß die Reaktoren nur einen Bruchteil der vier verschiedenen Einrichtungseinheiten abgeben.

Allerdings müssen wir uns davor hüten, die Reaktoren an Kompliziertheit und Wichtigkeit den Allaktoren oder gar den Transport- und Behältereinheiten gleichzusetzen. Die Reaktoren stellen den wichtigsten Teil jedes chemischen Betriebes dar, wird doch das gesamte Arsenal der chemischen Wissenschaften in der Praxis des Chemieingenieurs gerade bei den Reaktoren eingesetzt. Ordnet man die chemischen Apparatetypen im Kompliziertheitsspektrum in Reih und Glied, dann findet man, daß die Behälter links, rechts von ihnen die Leitungen, noch weiter rechts die Allaktoren stehen und daß erst dann die mit den meisten Parametern arbeitenden Reaktoren folgen. Betriebseinheiten mit gemischter Funktion, wie z. B. der Fraktionierdestillator, stehen natürlich rechts von den Einzweckapparaturen. Deshalb stellte es einen gewaltigen Irrtum dar, wenn man die Menge der chemischen Probleme schematisch im obigen Verhältnis von 3 : 1 betrachten wollte. Die Probleme im

Zusammenhang mit den Reaktoren machen ungefähr die Hälfte sämtlicher Probleme der chemischen Betriebe aus. Daß dieser Anteil nicht höher ist, wird begreiflich, wenn man bedenkt, daß z. B. die gesamte chemische Verfahrenstechnik — wie gezeigt — aus der Destillation und ihren Apparaten hervorgegangen ist, die nichts anderes sind als Allaktoren zur Trennung von Flüssigkeitsgemischen, und wenn man weiterhin überlegt, daß die Physiko-Chemie dieser Destillation, trotzdem es sich um ein jahrtausendaltes Verfahren handelt, und auch seine eigentliche wissenschaftliche Vergangenheit auf mehr als hundert Jahre zurückreicht, bis heute noch nicht restlos geklärt ist. Doch auch sonst halten wir noch dort, daß wir heute selbst einen Mischer noch nicht verlässlich berechnen können!

Demnach konzentriert sich die Rolle der chemischen Wissenschaften im Chemieingenieurwesen hauptsächlich auf die Reaktoren. Nun sind aber sämtliche chemischen Reaktionen — mit wenigen Ausnahmen — außerordentlich kompliziert, so sehr, daß sie durch die prinzipiellen Schemata der Chemie nur in großen Zügen modelliert werden können. Die rein theoretisch oder im Laboratorium vereinfachten, mit chemisch reinen Rohstoffen durchgeführten Reaktionen sind meist nur Grenzfälle der Betriebsreaktionen, denen sich diese letzteren in der Praxis des Chemieingenieurs im Laufe der Entwicklung höchstens asymptotisch so weit nähern, daß die Technologie immer »wissenschaftlicher« wird. Der richtigen Ausgestaltung solcher grundsätzlicher Modelle und ihrem erfolgreichen Vergleich mit dem tatsächlichen Prozeß kommt daher eine kaum hoch genug einzuschätzende Bedeutung zu. Die chemischen Grundwissenschaften *spielen also die Rolle der Ideale der chemischen Technologie*, wobei wir jedoch wiederholen, daß die Technologie aus ihnen nicht »abgeleitet werden kann«, u. zw. schon deshalb nicht, weil es sich bei den Rohstoffen der chemischen Industrie niemals um einfache, sondern um verunreinigte, komplizierte Systeme handelt, bei denen die restlose Klarstellung ihres chemischen Verhaltens auch heute noch bloß einen Wunschtraum bildet, und weil sich im Großtechnischen etwas meldet, was im Laboratorium keine Rolle spielt: die *Maßstabwirkung* [6]. Eine Betrachtungsweise von seiten des Chemieingenieurs, die diese Tatsachen in ihren wirklichen Proportionen und Zusammenhängen nicht sieht, kann nicht als wissenschaftlich gelten.

5.

Die chemischen Wissenschaften spielen — neben ihrer Bedeutung für das Chemieingenieurwesen — eine beachtliche Rolle auch in den übrigen technischen Wissenschaften: im Maschinenbau- und Elektroingenieurwesen, aber darüber hinaus auch im Montan- und Verkehrsingenieurwesen etc., u. zw. vor allem bei den Konstruktionsteilen (eine Rolle, die sich naturgemäß vom Gesichtspunkt der Korrosion in der chemischen Industrie besonders

schwerwiegend geltend macht). L. Gillemot hat vor kurzem in der Zeitschrift »Magyar Tudomány« [7] hierzu eine ausgezeichnete Zusammenfassung gegeben, weshalb ich mich hier nur auf einige Gedanken beschränken möchte, die sich auf die in diesem Vortrag berührten erkenntnistheoretischen Probleme und auf ihre Zusammenhänge mit der Ingenieursausbildung beziehen.

Gillemot gibt eine plastische Darstellung von der überragenden Bedeutung, die der wissenschaftlichen Entwicklung von Konstruktionsrohstoffen für die neuzeitliche Technik zukommt. Diese Entwicklung ging oft in revolutionären Formen vor sich. So möchte ich nur flüchtig andeuten, was z. B. schon bisher das Erscheinen der Kunststoffe im Maschinenbau bedeutet hat, obwohl wir erst am Anfang ihrer Verwendung stehen; oder welche entscheidende Rolle die neuere wissenschaftliche Metallurgie auf dem Gebiet der verschiedenen, außerordentlich stark beanspruchten Konstruktionselemente in der Flugtechnik spielt. Aus diesem Grunde ist die moderne Werkstoffprüfung schon weit über die hauptsächlich mechanische Phase hinausgelangt, die zu Beginn dieses Jahrhunderts auf unserer Technischen Universität in der Person unseres Prof. Rejtő einen so hochqualifizierten Vertreter hatte. Auch in dieser Disziplin hat sich die komplexe wissenschaftliche Methode, die Verflechtung der Wissenschaften auf den Grenzgebieten rapid durchgesetzt.

Von großer Bedeutung für die technischen Wissenschaften ist auch die Chemie der *Kraftstoffe*. Wie groß die Veränderungen sind, die wir auf diesem Gebiet miterleben, braucht wohl kaum detailliert zu werden, weiß es doch heute auch der Laie, was die neuen Kraftstoffe in der Astronautik oder die Spaltstoffe z. B. in Kernkraftwerken oder in der Seeschifffahrt bedeuten. Aber auch auf dem Gebiet der bescheideneren Hilfskraftstoffe, wie etwa bei den Schmiermitteln brachte die Chemie eine sprunghafte Entwicklung.

Eine ganz eigenartige Wirkung hatte jedoch die Chemie besonders seit dem zweiten Weltkrieg auf die Elektrizitätslehre. Die Elektrochemie, in der die physikalische Chemie der chemischen Stromwirkungen von allem Anfang an eine richtungweisende Wissenschaft war, bildet eines der ältesten Kooperationsgebiete der Chemie- und Elektroingenieure. Neuerdings aber hat die Entwicklung in der elektrischen Nachrichtentechnik eine in ständiger Intensivierung begriffene Wechselwirkung zwischen dem Erscheinen der glastechnischen, keramischen, metallkeramischen und metallischen Werkstoffe einerseits und der Elektrotechnik andererseits ausgelöst, deren Rhythmus in der chemischen Wissenschaften ohne Beispiel dasteht. Die elektronischen Rechenmaschinen, die Miniaturisierung in der Nachrichtentechnik und die Ausweitung ihrer Reichweite in den Weltraum bis zum Mond und neuerdings sogar schon bis zum Mars und weiter ist zum Großteil diesen neuen Stoffen zu verdanken. Sicherlich darf aber von den neuen Werkstoffen und besonders von der Chemie der Kunststoffe auch in der Starkstromtechnik eine bedeutsame Entwicklung erwartet werden.

6.

Bisher war fast ausschließlich von den technischen Auswirkungen der Chemie die Rede. Die Kürze der verfügbaren Zeit und der Umfang des Themas ermöglichen es mir leider nicht, auch die entgegengesetzten, von der Technik auf die Chemie ausgeübten Einflüsse zu behandeln, obwohl m. E. eine solche Untersuchung so manche Überraschungen bieten würde. Um die Aufmerksamkeit auf eine einzige solche Wirkung zu lenken, möchte ich hier nur darauf verweisen, daß beim Ingenieur bislang das räumliche Sehen, der Formsinn stark entwickelt war, während beim Chemiker der von der Form unabhängige Sinn für das Stoffliche, für die sog. »inneren Eigenschaften« vorherrschte. Und in der Tat hat die Ingenieurstechnik einen plastisch bildenden, die chemische Industrie hingegen hauptsächlich einen nicht mit dem plastisch Bildenden verbundenen Charakter.

Nun aber tritt eine der Rückwirkungen des Ingenieurwesens auf die Chemie gerade von dieser Seite her in Erscheinung. Die vom Sinn für Form und Räumliches getragene Betrachtungsweise drängt sich der experimentellen und theoretischen Chemie immer mehr auf, ob es sich nun um stereochemische oder kristallochemische Forschungen oder um die Ausarbeitung der immer komplizierter werdenden Laboreinrichtungen handelt. Die zeitgemäßen Laboratorien nähern sich dadurch immer mehr den großtechnischen Systemen und umgekehrt, die großtechnischen Systeme werden immer »wissenschaftlicher«, laborartiger. Ich bin daher überzeugt, daß es auch hier zu einer völligen Verschmelzung der theoretischen und technischen Wissenschaften kommen wird.

Dies alles aber bedeutet eine zunehmende Kompliziertheit, weshalb es sich der Ingenieur der Neuzeit immer weniger leisten kann, in chemischen Fragen Dilettant zu bleiben oder diese mit einem Achselzucken abzutun, als gingen sie ihn nichts an. Die ständige Vertiefung der einzelnen Fachwissenschaften und die damit einhergehende, kaum noch zu übersehende Ausweitung ihres Volumens erschweren aber dieses komplexe Wissen immer mehr. Damit wächst der Pfleger der Ingenieurwissenschaften mehr und mehr in das Paradoxon hinein, in einer Person immer mehr Spezialist und gleichzeitig auch immer mehr All-round-man sein zu müssen. Dieser Gegensatz spaltet ihn gleichsam wie ein mittelalterliches Marterinstrument. Nach dem bekannten Bonmot weiß der ideale Spezialist von nichts alles, der ideale All-round-man hingegen von allem nichts. Langsam scheinen wir heute diesem Bonmot hinzufügen zu können, daß sich der Pfleger der Wissenschaften dem idealen Zustand von Null und Unendlich gleichzeitig asymptotisch nähern, d. h. ein offenbar schwieriges Akrobatenkunststück vollführen müßte.

Meiner Ansicht nach befindet sich die Wissenschaft unserer Epoche, besonders aber die Ingenieursausbildung, in der *Krise der Komplexität*. Hier sehen wir uns mit einer neuen Art von Widerspruch konfrontiert, die von manchen für unlösbar gehalten wird. »Die Zeiten der Polyhistoren sind vorbei,

beklagen sich so manche, die sich nach den Lorbeeren eines Aristoteles oder Lomonossow sehnen. Es sei mir bei dieser Gelegenheit gestattet, mich gegen die wissenschaftliche Objektivität zu vergehen und mich auf einige subjektive Erinnerungen zu berufen, die in mir die Hoffnung auf die Lösbarkeit dieses Widerspruches erweckten.

Vor dem ersten Weltkrieg war der Galilei-Kreis das lebhafteste wissenschaftliche Kulturzentrum der demokratischen Budapester Studentenschaft. Auch ich gehörte ihm an, und bis heute blieb mir ein genialer Ausspruch des damaligen Präsidenten des Kreises, des vor kurzem in Kanada verstorbenen Professors Károly Polányi im Gedächtnis: »Die Wissenschaft setzt sich nicht zum Ziel, unsere Köpfe vollzustopfen, sondern gerade im Gegenteil, sie so leer wie möglich zu halten.« Ich könnte aber auch eine Bemerkung Wilhelm Ostwalds, des großen Repräsentanten der physikalischen Chemie, d. h. also einer der revolutionärsten komplexen Wissenschaften, aus seinem Werk »Große Männer« zitieren, daß nämlich die schöpferische wissenschaftliche Arbeit zur Unmöglichkeit wird, wenn wir unseren Kopf mit Fakten überfüllen. Meines Erachtens ist dies auch für den Spezialisten gültig: Selbst über einen Gegenstand beschränkten Umfangs darf man nicht zuviel im Gedächtnis behalten. Trotzdem glaube ich kaum, daß diese hervorragenden Geister eine leere Blase als wissenschaftliches Ideal betrachtet hätten. Hier handelt es sich um ein charakteristisches *Optimumproblem*, und nach meiner heutigen Auffassung erfordert dieses Optimum, obwohl es von Nullwert sehr weit entfernt ist, eine sehr sparsame Beanspruchung der Gedächtnisleistung des Gehirnes. *Die Hauptmasse des Gedächtnisstoffes der Wissenschaft sollte in den Bibliotheken — und nicht in den Köpfen gespeichert sein.*

Nun stellt sich die Frage, ob das traditionelle Memorieren in den Schulen bis heute dieses Optimum nicht überschritten hat, ob es nicht bereits dringend nötig geworden ist, uns weit mehr als bisher damit zu befassen, wie wir z. B. die Studenten der besonders vieles Memorieren beanspruchenden, weil außerordentlich komplexen Ingenieurwissenschaften in der fachgemäßen Benutzung der Bibliotheken, der Dokumentationen zu unterweisen und auf Kosten des übertriebenen Büffels sie *auch darin* einem Examen zu unterziehen hätten. Ich machte mir viele Gedanken über eine Bemerkung J. D. Bernal's in einer seiner Arbeiten daß nämlich die Pfleger der Wissenschaften in der Dokumentationstechnik nur in den seltensten Fällen bewandert seien.

Die Sache hat aber auch eine Kehrseite. Der relativen »Leerheit« des Gehirnes sind nicht nur quantitative, sondern auch qualitative Schranken gesetzt. Auch De Solla Price verweist in seiner zitierten Arbeit [4] ganz richtig auf die wechselseitig befruchtende Wirkung von Wissenschaftszweigen, die fern voneinander liegen. Wie ich dies mit Vorliebe betone, bedarf es zur Assoziierung mindestens zweier voneinander abweichender Elemente der Wissensmenge. Eine Gedankenassoziation aus nichts oder aus identischen Elementen

ist nicht möglich. Deshalb erfordert m. E. das Optimum der schöpferischen wissenschaftlichen Tätigkeit die Pflege einer gewissen, nicht zu großen und nicht zu kleinen Zahl *verschiedener Wissenschaftszweige*. De Solla Price empfiehlt mindestens zwei, schreibt aber seine eigenen wissenschaftlichen Ergebnisse auch der Verschiedenheit seiner Studien zu. Der »Process-engineer« von heute ist ebenfalls ein solcher zweiseitig, chemisch und technisch gebildeter komplexer Fachmann, was auch meine eigene Lebenserfahrung als positive Bildung wertet.

Wenn wir also den Satz akzeptieren, daß die fruchtbarste wissenschaftliche Bildung die komplexe Bildung ist, wozu aber ein oberflächliches Wissen nicht genügt, weshalb ein quantitativ *und* qualitativ festgesetztes Optimum existiert, dann müssen wir in unserem Fall auch die Frage beantworten, bis zu welcher Tiefe der Maschinenbau- oder der Elektroingenieur chemisches Wissen benötigt und umgekehrt, und wieviel er für diesen Zweck — im Hinblick auf die beschränkte Kapazität von Zeit und Gehirn — opfern darf. Im Gegensatz zu den Kassandra der Wissenschaft bin ich der Ansicht, daß solche Optima möglich sind und daß das dringende Bedürfnis des Lebens früher oder später die dazu notwendigen Hormone von selbst entstehen lassen wird, ist doch das Leben selbst, wie dies die Physiologie zeigt, die erregend natürliche Lösung eines solchen Optimumproblems. *Diese Lösung sehe ich in der Mechanisierung der Dokumentation, in der wissenschaftlichen Selektion des zu memorierenden datenmäßigen Wissensstoffes, im einfachen und guten, aber mit mathematischer Strenge ausgebauten Modellieren der komplizierten Systeme, nicht zuletzt aber auch im methodischen Teamwork.* Meiner Meinung nach wird das Optimum der chemischen Bildung des Ingenieurs irgendwo dort liegen, wo dieser in der Chemie genügend bewandert sein wird, um in der Brigadearbeit seine Chemikerkollegen verstehen und beurteilen zu können, in welche chemische Probleme er sich ohne Hilfe seiner Chemikerkollegen nicht hincinwagen darf. Umgekehrt gilt das gleiche für den Chemiker. Eine wahrhaft fruchtbringende Wechselwirkung auf diesem Gebiet kann nur auf diese Weise zustande kommen.

Wenn ich heute, an meinem Lebensabend, in die Zukunft blicke, sehe ich die zukünftigen Pfleger der komplexen Wissenschaften so, als wären sie Mitglieder eines gut abgestimmten hervorragenden Orchesters, die auch ohne Dirigenten frei Neues schaffen und variieren können, obwohl jeder Musiker hauptsächlich der Meister seines eigenen Instrumentes ist; immer *Neues*, wie es die indischen Orchester improvisieren, denn in unserem wissenschaftlichen Blutkreislauf gibt es irgendeine menschliche Gemeinschaft höherer Ordnung.

Literatur

1. KORACH, M.: The Science of Industry. In der Sammlung »The Science of Science« von Goldsmith und Mackay. Souvenir Press, London, 1964.
2. KIRKBRIDGE, CH.: Chemical Engineering Fundamentals, Wiley. New York 1949.

3. KORACH, M.: A technológia módszertana (Methodik der Technologie). Magyar Tudomány, **2**, (1957); On methodical problems of Technology. Periodica Polytechn. **2**, (1958); Die chemische Technologie als Wissenschaft, Jahrbuch der Technischen Universität, Budapest, 1960.
4. DE SOLLA PRICE, D.: Science since Babylon, Yale University Press, New Haven and London, 1961.
5. KORACH, M.: Általános Kémiai Technológia (Allgemeine Chemische Technologie), Tankönyvkiadó, Budapest, 1963 (ungarisch).
6. KORACH, M.: A léptékhatás a kémiai technológiában. MTA kém. Tud. Oszt. Közl. **II**, **2** (1959). Über den Maßstabeffekt in der chemischen Technologie, Acta Chimica, **20**, (1959).
7. GILLEMOT, L.: A természettudományok és műszaki tudományok újabb irányai (Neue Richtungen in den Naturwissenschaften und den technischen Wissenschaften). Magyar Tudomány **6**. 409—412. 1965.

Prof. Dr. Mór KORACH, Budapest XI. Gellért tér 4. Ungarn.