

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 78 (1960)
Heft: 3

Artikel: Verfahrenstechnik und Chemical Engineering
Autor: Grassmann, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-64820>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Verfahrenstechnik und Chemical Engineering

Von Prof. Dr. P. Grassmann, Zürich

DK 66.02

1. Aufgabe des Verfahrensingenieurs

Mit dem Uebergang zu immer grösseren Einheiten, höheren Betriebsdrücken und Temperaturen wuchs auch in der chemischen Industrie der Bedarf an ingenieurmässig ausgebildeten Mitarbeitern. Wohl konnte er teilweise dadurch gedeckt werden, dass auch rein chemisch orientierte Werke Maschineningenieure einstellten. So werden z. B. in der Badischen Anilin- und Sodaefabrik über 300 diplomierte Maschineningenieure beschäftigt, wobei die in der Energieversorgung und in den Verkehrsbetrieben arbeitenden Ingenieure noch gar nicht mitgerechnet sind. Aber man erkannte bald, dass hier eine Lücke klaffte: auf der einen Seite stand der reine Chemiker, der seinem ganzen Ausbildungsgang nach eher für die Tätigkeit im Laboratorium als für den Aufbau grosstechnischer Anlagen bestimmt war. Der Ingenieur anderseits aber interessierte sich mehr für die Maschine, die umläuft, als für den Apparat, durch den etwas hindurchläuft. Auch blieben ihm die Arbeitsmethoden, ja schon die Art, wie der Chemiker die Probleme anpackte, fremd. Ferner kamen ihm die Forderungen, die der Chemiker an die Apparatur stellen musste, um den gewünschten Ablauf der Reaktion zu gewährleisten, oft übertrieben vor. Zwar war es dort, wo vernünftige Menschen sich fanden, immer möglich, zu nutzbringender Zusammenarbeit zu gelangen. Aber die Verständigung über das Fachgebiet hinaus blieb schwierig, schon weil Chemiker und Ingenieur eine verschiedene Sprache reden. Es wurde deshalb bald von Seiten der Industrie der Wunsch laut, die Hochschule möge durch zweckmässige Ausbildung die Verständigung erleichtern und schon hier dem Ingenieur einen Einblick in die Gedankenwelt des Chemikers und umgekehrt vermitteln.

Zur Ueberbrückung dieser Kluft zwischen Maschineningenieur und Chemiker wurden zwei Wege beschritten. In den Vereinigten Staaten und in England wurde der Studiengang des Chemical Engineering geschaffen. Man begann, zwischen den beiden historisch gewachsenen Blöcken der Chemie und des Maschinenbaues einen dritten Pfeiler zu errichten. Die Studierenden dieses Fachs sollten von beiden Disziplinen so viel erfahren, dass sie sowohl den Ablauf der chemischen Reaktion vorausberechnen als auch den Apparat, in dem sich diese abspielt, entwerfen oder zumindest die geeigneten Apparatetypen auswählen konnten. In den Staaten wendet sich zur Zeit etwa ein Drittel der Studenten des Maschinenbaus diesem Fach zu. In England sind die chemical engineers in eigene Abteilungen zusammengefasst, die denen des Maschinenbaus und der Chemie gleichberechtigt sind. Welcher Wert dabei auf eine wirklich hochwertige wissenschaftliche Ausbildung gelegt wird, geht z. B. aus der Tatsache hervor, dass am Chemical Engineering Department des Imperial College in London zur Zeit 70 Fachleute mit der Anfertigung ihrer Thesis (die unserer Dissertation entspricht) beschäftigt sind.

In mehreren Ländern Europas, besonders in Deutschland, ist ein anderer Weg beschritten worden. Man war sich der Schwierigkeiten bewusst, Menschen zu finden, die sowohl für Chemie wie für den Maschinenbau Begabung und Interesse zeigten, und wollte jede Halbildung vermeiden. So arbeitete man einerseits auf die stark technisch orientierte Spielart des Chemikers hin und schuf anderseits den Ausbildungsgang des Verfahrensingenieurs. Dieser ist in seiner Grundausbildung Maschineningenieur, jedoch erhält er, beginnend mit dem 4. oder 5. Studiensemester, noch eine Ausbildung in Apparatebau, etwas Chemie und physikalischer Chemie.

Es ist nicht ganz zufällig, dass in Deutschland im Gegensatz zu den Vereinigten Staaten dieser Weg beschritten wurde. Ist doch die deutsche chemische Industrie zu einem grossen Teil durch Synthese von Farbstoffen und Pharmazeutika gross geworden, also von sehr kompliziert aufgebauten chemischen Verbindungen. So wurde auch von dem im Betrieb tätigen Chemiker eine sehr gediegene Kenntnis der organischen Chemie verlangt. Daneben musste eine Ausbildung in Apparatebau mehr in den Hintergrund treten.

Es sei schon hier betont, dass sich der Einsatzbereich sowohl des Chemical Engineers wie auch des Verfahrensingenieurs nicht auf die chemische Industrie beschränkt. In vieler Hinsicht ähnliche Anforderungen an die Kenntnisse der Mitarbeiter werden nämlich auch in folgenden Industrien gestellt:

1. Lebens- und Genussmittel sowie auch Futtermittel
2. Nebenbetriebe der Kernkraftwerke (Aufbereitung des Spaltstoffs, Wärmeübertragung usw.)
3. Aufbereitung von Erzen und festen Brennstoffen
4. Klima- und Kältetechnik
5. Tieftemperaturtechnik (Luft- und Gaszerlegung, Schwerwasserstoffgewinnung)
6. Aufbereitung des Erdöls
7. Industrie der Steine und Erden
8. Textil- und Lederindustrie, Weiterverarbeitung von Kunststoffen

2. Der rasch wachsende Bedarf an Verfahrensingenieuren

Welche Maßstäbe stehen uns zur Verfügung, um objektiv den Raum zu ermessen, der einer bestimmten Fachrichtung im Hochschulstudium zugestanden werden muss? Da an den Abteilungen für Maschinenbau Ingenieure für die industrielle Praxis ausgebildet werden, wäre es naheliegend, die Bedeutung der betreffenden Industrie und die Zahl der in ihr Beschäftigten als Maßstab zu wählen. Schon von diesem Standpunkt aus erkennen wir die Notwendigkeit einer verstärkten Berücksichtigung im Unterricht, denn es braucht wohl kaum auf die grosse Bedeutung der chemischen Industrie, besonders auch in der Schweiz, hingewiesen zu werden. Unterschätzt wird aber häufig der hohe Anteil von Maschineningenieuren, die in der chemischen Industrie tätig sind. Er beträgt in Westdeutschland im Mittel 1,4 % der gesamten Belegschaft [1]. Es muss zudem an die hohe Zahl der Maschineningenieure gedacht werden, die die Zubringerindustrien der chemischen Werke, besonders der Apparatebau, benötigen. Jedoch machen chemische Industrie und Apparatebau erst einen Teil der Gebiete aus, in denen Bedarf an Verfahrensingenieuren besteht.

Wir müssen uns aber darüber im klaren sein, dass die Zahl der auszubildenden Ingenieure nicht so sehr durch den derzeitigen Umsatz des betreffenden Industriezweiges, sondern mehr durch seine Zuwachsrate bestimmt wird. Die Gründe sind die folgenden:

1. Hochschulingenieure werden hauptsächlich bei Neuentwicklungen benötigt.
2. Das Ziel der Ausbildung muss dem eigentlichen Bedarf vorausseilend besonders in den Grundlagenfächern so weit wie möglich der zukünftigen Entwicklung Rechnung tragen. Die Studenten von heute sind nämlich in 20 bis 30 Jahren zu Trägern der technischen Entwicklung geworden. Ihr wissenschaftliches Fundament sollte auf die dann zu lösenden Probleme ausgerichtet sein. Die Zukunft eines Ge-

bites ist aber weitgehend durch seine heutige Zuwachsrate bestimmt.

Die jährliche Zuwachsrate auf vielen Gebieten der Verfahrenstechnik liegt aber weit über dem Durchschnitt der übrigen technischen Entwicklung. Als Beispiel für viele andere Zweige dieses ausgedehnten Gebietes sei dies nur durch folgende Zahlen belegt: Der Produktionswert der westdeutschen Kälteindustrie stieg von 1950—57 von rd. 140 auf 650 Mio DM (mittlere jährliche Zuwachsrate 24,5 %), und die Zahl der jährlich hergestellten Kühlschränke hat sich zwischen 1956 und 1958 mehr als verdoppelt [2]. Aehnlich rasch schreitet die Entwicklung der Kälte- und Klimatechnik auch in den anderen europäischen Ländern voran [3]. Es erübrigt sich, auf die hohen Zuwachsrationen in der chemischen Industrie wie z. B. in der Erzeugung von Düngemitteln, von Pharmazeutika und von Kunststoffen — die sich z. B. in Westdeutschland zwischen 1955 und 1958 nahezu verdoppelt hat [4] — noch besonders hinzuweisen. (Der Umsatz der westdeutschen chemischen Industrie stieg von 1950 bis 1958 im Mittel um 12,4 %, der des Apparatebaus von 105 auf 566 Mio DM, was einer mittleren Zuwachsrate von 23,4 % pro Jahr entspricht [5].)

Damit verglichen, erhöht sich der Energieverbrauch, der vielleicht als Maßstab für den Mittelwert der industriellen Erzeugung dienen darf, nur langsam, beträgt doch seine Zuwachsrate nach den Schätzungen der Vereinten Nationen zwischen 1952 und 1975 nur 3,8 % [6]. Der Anteil der in der Verfahrenstechnik benötigten Ingenieure steigt also rascher, als dem Mittelwert der industriellen Erzeugung entspricht.

Masstäbe für den Aufstieg der Verfahrenstechnik stellt auch die ACHEMA (Ausstellungstagung für chemisches Apparatewesen) in Frankfurt/Main dar, die sich zu einer der grössten Ausstellungen des Kontinents entwickelt hat, und das Jahrestreffen der Verfahrensingenieure, an dem vor dem Krieg nur wenige Wegbereiter dieses neuen Wissenschaftsbereiches teilnahmen, das aber heute mit rd. 1500 Teilnehmern in die erste Reihe der technisch-wissenschaftlichen Veranstaltungen Westeuropas aufgerückt ist [14]. Entsprechend dem rasch wachsenden Bedarf an Verfahrensingenieuren hat sich die Zahl der Absolventen dieser Fachrichtung an den deutschen technischen Hochschulen in den letzten 2 Jahren von 12 auf 20 % derjenigen des allgemeinen Maschinenbaus erhöht [14].

3. Das Schrifttum über Verfahrenstechnik

Entscheidender als diese Zuwachsrationen dürfte aber für die Eignung eines Faches als Ausbildungsgegenstand ein anderer Gesichtspunkt sein, nämlich der geistige Gehalt des betreffenden Gebietes. Wenn dieser sich zwar natürlich nicht in Zahlen fassen lässt, so mögen doch Zahlen gewisse Hinweise geben. Neue Erkenntnisse finden ihren Niederschlag in der Literatur, zunächst in Abhandlungen in wissenschaftlichen Zeitschriften, dann in Hand- und Lehrbüchern. Es ist deshalb sinnvoll, auch einen Blick auf den Umfang der auf dem betreffenden Gebiet vorliegenden Literatur zu werfen. Dabei beschränken wir uns im folgenden auf die Verfahrenstechnik, d. h. auf die Lehre von den Grundverfahren, schliessen also die noch etwas reichhaltigere Literatur über chemische Technologie, d. h. die Lehre von der Herstellung bestimmter chemischer Produkte, von der Betrachtung aus. Einen guten Ueberblick über die wichtigste Literatur vermitteln die im Abstand von zwei Jahren herauskommenden «Fortschritte der Verfahrenstechnik» [7]. Obwohl man dort nur diejenigen Arbeiten zitiert, die wirklich etwas Neues zum Stand unserer Kenntnis beigetragen haben, so sind doch im letzten Band etwa 10 000 Arbeiten angeführt, die in den Jahren 1956 und 57 erschienen sind. Allein auf dem «kleinen» Teilgebiet der Destillation und Rektifikation erschienen 1954 etwa 1500 Veröffentlichungen [8]. Man hat natürlich versucht, diese grosse Tatsachenfülle in Handbüchern zu «bändigen». Nach dem Krieg sind drei einschlägige Sammelwerke zusammengestellt worden, von denen bisher insgesamt über 30 Bände erschienen sind.

Anderseits wurde im «Bulletin de l'Institut International du Froid», das einen grossen Teil der Weltliteratur auf dem Gebiet der Kälte- und Klimatechnik erfasst, im letzten Jahr über 1233

neu erschienene Arbeiten referiert. Gross ist auch die Zahl der jährlich auf diesem Gebiet erschienenen Bücher! Auf dem Gebiet der Trockentechnik sind in den letzten drei Jahren allein in Deutschland zwei einbändige und ein zweibändiges Werk herausgekommen; es liegen jetzt sechs Bände des zwölfbändigen «Handbuchs der Kältetechnik» von R. Plank und die etwa ebenso umfangreiche «Encyclopédie du froid» von M. Piettre vor.

Vergleicht man die Zahl der Neuerscheinungen auf den verschiedenen Gebieten des Maschinenbaus, der Verfahrens-, Kälte- und Klimatechnik, so ergibt sich folgendes Bild:

Tabelle 1. Verteilung der neuerschienenen technischen Bücher auf die verschiedenen Gebiete

Strömung inkompressibler Flüssigkeiten, Wasserturbinen, Pumpen und dgl.	5,3 %
Aerodynamik, einschl. Gasdynamik und Raketenbau	11,6 %
Thermodynamik	8,9 %
Dampfturbinen und Gasturbinen (ohne Kraftwerkbau)	7,2 %
Reaktortechnik	10,7 %
Verfahrenstechnik (einschl. Trocknungstechnik, Rektifikation usw., jedoch ohne Vakuumtechnik)	14,4 %
Klimatechnik	4,0 %
Wärme- und Stoffaustausch, Konstruktion von Wärmeaustauschern	2,8 %
Kälte-technik	7,3 %
Physikalische Chemie	14,1 %
Schweißen und Maschinenelemente (ohne Werkstattbücher und dgl.)	3,6 %
Mechanik	10,0 %
«Allgemeine Verfahrenstechnik», umfassend Verfahrenstechnik, Klimatechnik, Kälte-technik, $\frac{1}{2}$ phys. Chemie + $\frac{1}{3}$ Reaktortechnik + $\frac{1}{2}$ Wärme- und Stoffaustausch	38,3 %

(Zur Aufstellung dieser Tabelle wurden die Bücher gezählt, die im Springer-Verlag und im McGraw Hill-Verlag erschienen oder im Katalog Payot angeführt sind.)

Es mag ferner noch eine Tabelle folgen, die die prozentuale Verteilung der in der VDI-Zeitschrift — also einer Zeitschrift, die sich vor allem an den Maschineningenieur wendet — erschienenen Originalarbeiten und Referate auf die einzelnen Fachgebiete zeigt [9]. Obwohl das Organ der Fachgruppe «Verfahrenstechnik» des VDI die Zeitschrift «Chemie-Ingenieur-Technik» ist, also ein grosser Teil der Arbeiten auf diesem Gebiet gar nicht in der VDI-Zeitschrift erscheint, steht der Anteil der Verfahrenstechnik doch fast an der Spitze.

Tabelle 2. Verteilung der Veröffentlichungen in der VDI-Zeitschrift 1958 auf die verschiedenen Gebiete

Fachgruppen	Berichte in % der Seitenzahl	Hinweise in % der Gesamtzahl
Strömungsmaschinen (Pumpen, Verdichter, Turbinen, Gebläse)	1,4	1,6
Technische Physik (Mechanik, Strömungslehre, Wärmelehre, Schwingungen)	5,6	4,8
Messtechnik, Steuerungstechnik, Regelung	7,9	5,3
Verfahrenstechnik, Chemie	7,9	7,4
Kerntechnik	3,2	3,4
Heizung, Lüftung, Staub, Kälte-technik, Gesundheitstechnik	2,8	5,6
Luftfahrttechnik	2,5	2,2
Textiltechnik	1,7	0,9
Verbrennungsmaschinen	1,2	1,5
Fördertechnik	0,8	2,6
Betriebsorganisation, Betriebswirtschaft	1,2	2,4
Fertigungstechnik, Konstruktion	7,0	3,5
Werkzeuge und Werkzeugmaschinen	7,3	5,0
Energiewirtschaft, Kraftwerkseinrichtungen	1,4	2,8
«Verallgemeinerte Verfahrenstechnik»	10,6	12,1

Zu dieser Tabelle sei noch bemerkt, dass auch noch ein gewisser Teil der nicht unter dem Stichwort «Verfahrenstechnik» erfassten Gebiete am zweckmässigsten dem Studierenden über eine Grundausbildung in der Verfahrenstechnik erschlossen werden. Es sind dies: Kältetechnik einschl. Klima- und Tieftemperaturtechnik; Lebensmitteltechnologie und gewisse Teile der Kerntechnik (Wärmeaustauscher, Trenn- und Aufbereitungsanlagen für Kernkraftwerke). Berücksichtigt man dies, indem man zu den für Verfahrenstechnik angegebenen Prozentzahlen noch $\frac{1}{2}$ derjenigen der Heizungs-, Lüftungs- und Kältetechnik und noch je $\frac{1}{3}$ derjenigen der Fördertechnik und Kerntechnik hinzuzählt, so kommt man auf die in der letzten Zeile der Tabelle unter «allgemeine Verfahrenstechnik» angegebenen Zahlen.

4. Wie weit lässt sich die zukünftige Entwicklung voraussehen?

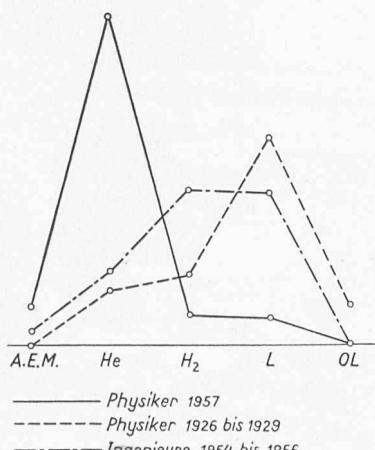
Wenn wir oben die Forderung erhoben haben, dass die Ausbildung an der Hochschule der zukünftigen Entwicklung Rechnung zu tragen habe, so mag man dagegen einwenden, dass sich diese doch wohl kaum voraussehen lasse. Dieser Einwand ist jedoch nur zum Teil richtig. Wir können uns hier nämlich auf die Erkenntnis berufen, dass die Physik von heute die Technik von morgen ist, oder, etwas allgemeiner formuliert, die wissenschaftlichen Entdeckungen von heute bilden das Fundament der zukünftigen technischen Entwicklung. Dieser Abstand von «heute» bis «morgen», diese Phasenverschiebung der technischen Anwendung gegenüber der wissenschaftlichen Erkenntnis ist natürlich von Fall zu Fall verschieden, dürfte aber bei wirklich grundlegenden Neuerungen wohl meist kaum kürzer als rund 20 Jahre sein. Als Beispiel sei etwa auf die etwas weniger als 20 Jahre verwiesen, die von der ersten Kernspaltung 1938 durch Hahn und Strassmann bis zum Aufbau grosstechnischer Kernkraftwerke und der Aufnahme der Studienrichtung Reaktortechnik in den Lehrplan der Hochschulen vergangen sind. Diese Phasenverschiebung von rund 20 Jahren ist auch aus Bild 1 abzulesen, das die Entwicklung der Tieftemperaturphysik zur Tieftemperaturtechnik zeigt.

Diese 20 Jahre entsprechen aber auch etwa dem Zeitraum, der verstreicht, bis ein Absolvent einer Hochschule in eine führende Industriestelle aufgerückt ist. Innerhalb gewisser Grenzen ist es also doch möglich, die technische Entwicklung vorauszuhahnen, wenn man den Fortschritt der wissenschaftlichen Erkenntnis sorgfältig verfolgt [10].

5. Verfahrenstechnik und Kerntechnik

Es wurde schon oben darauf hingewiesen, dass dem Verfahrensingenieur auch bei Entwicklung der Kernenergie eine wichtige Rolle zufallen dürfte. Die auf diesem Gebiet auftretenden Probleme sind so vielseitig, dass es nach Ansicht

Bild 1. «Interessenspektren» der Physiker und Ingenieure zu verschiedenen Zeiten. Sie wurden dadurch gewonnen, dass in einigen repräsentativen Veröffentlichungen, wie Handbüchern und Tagungsberichten, die Zahl der Seiten oder Vorträge ermittelt wurde, die in % der Gesamtzahl dem betreffenden Temperaturgebiet gewidmet sind. Dabei bedeuten AEM adiabate Entmagnetisierung (10^{-5} bis 10^3 K), He flüssiges Helium (1 bis 50°K), H_2 flüssiger Wasserstoff (15 bis 220°K), L flüssige Luft (~ 60 bis 1000°K); OL Temperaturbereich oberhalb der flüssigen Luft ($T > 1000^{\circ}\text{K}$). Nach «Kältetechnik» 10 (1959) S. 301. Vor 1926 haben sich erst verschwindend wenige Ingenieure mit dem Temperaturgebiet der flüssigen Luft und überhaupt keine mit noch tieferen Temperaturen befasst.



des Verfassers wohl kaum möglich sein dürfte, schon an der Hochschule einen Ingenieurtyp auszubilden, der auch nur die Grundlagen aller einschlägigen Fächer beherrscht. Ähnlich wie beim Bau von Wasserkraftwerken muss auch hier eine Aufteilung angestrebt werden. Wie es nämlich auch keinen «Wasserkraftingenieur» gibt, der sowohl mit dem Bau von Staumauern, Druckstollen, Turbinen, Regeleinrichtungen und elektrischen Generatoren vertraut ist, so muss auch in der Kerntechnik das Aufgabengebiet auf einzelne Fachgebiete aufgeteilt werden. Es sind dies als Kernstücke der Anlage: der eigentliche Reaktor, zweitens die Turbine und drittens das Zubehör. Unter diesem seien die Wärmeaustauscher und die Aufbereitungs- und Trennanlagen für den Brennstoff verstanden. Hier handelt es sich um Aufgaben, die vollständig in das Gebiet des Verfahrensingenieurs fallen. Auch die hiebei oft recht schwierigen Werkstofffragen, die Forderung der absoluten Dichtheit gewisser Apparateile sind ihm vertraute Probleme. Neu hinzu kommt nur noch die Strahlenwirkung, die in Zukunft dem Verfahrensingenieur aber auch auf vielen anderen Gebieten seines weiten Tätigkeitsfeldes begegnen wird.

6. Verfahrenstechnik als Unterrichtsfach

Was sind die Grundlagen dieses Fachs und wie weit haben sie auch Bedeutung für andere Zweige des Ingenieurwissens? Die Ausbildung des Verfahrensingenieurs muss wie diejenige des Maschineningenieurs auf den Grundlagen der Mathematik, der Physik, der Maschinenelemente, der Strömungslehre und der Thermodynamik aufbauen. Die Akzente sind zwar etwas verschoben, jedoch nicht so weit, dass dadurch ein gemeinsamer Unterricht des Maschinen- und Verfahrens-Ingenieurs in den ersten 4 oder 5 Semestern unmöglich würde. In der Mathematik sollte er sich neben der Uebung im Lösen gewöhnlicher und partieller Differentialgleichungen möglichst auch die Fähigkeit erwerben, den Vorgang mathematisch zu formulieren, d. h. «Ansätze zu machen». Während nämlich auf vielen anderen Gebieten des Ingenieurwesens die grundlegenden Differentialgleichungen längst bekannt sind, und vom Ingenieur «nur» verlangt wird, diese Gleichungen unter Beachtung der räumlichen und zeitlichen Grenzbedingungen zu lösen, sieht sich der Verfahrensingenieur immer wieder neuen Problemen gegenüber. Hat er es doch in einem grösseren chemischen Betrieb nicht nur gleichzeitig mit einer grossen Zahl von Verfahren zur Herstellung der verschiedensten Erzeugnisse zu tun, sondern auch in zeitlicher Aufeinanderfolge mit immer wieder abgedrehten und verbesserten Produktionsprozessen, wird doch die durchschnittliche Lebensdauer eines chemischen Verfahrens auf nur rund sieben Jahre geschätzt [13]. Hier müssen also immer wieder neue Wege beschritten, neue Aufgaben gelöst werden.

In der Strömungslehre haben Vorgänge bei hohen Machzahlen für die Verfahrenstechnik — wenigstens bisher — nur geringe Bedeutung, jedoch sollten Mischvorgänge sowie auch Rheologie und zweiphasige Strömungsvorgänge wenigstens in ihren Grundlagen behandelt werden. In der Thermodynamik sollte neben der auf die vier Hauptsätze aufbauenden axiomatischen Thermodynamik, die auch für den Verfahrensingenieur einen Schwerpunkt der Ausbildung bedeutet, vor allem die irreversible Thermodynamik (Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch), die Mehrstoffthermodynamik (Theorie der Mischungen und Lösungen) und die chemische Thermodynamik (Thermochemie und chemisches Gleichgewicht) behandelt werden.

7. Notwendigkeit der physikalischen Chemie [12, 14]

Wenn so die für den Maschineningenieur wichtigen Grundlagenfächer auch für den Verfahrensingenieur unerlässliche Elemente darstellen, so müssen sie doch noch durch ein Fach ergänzt werden: die physikalische Chemie. Durch sie lässt sich eine Vielfalt von Erscheinungen auf ihre gemeinsame Wurzel zurückführen und so mit Hilfe weniger Grundtatsachen dem Verständnis nahebringen. Dies sei an zwei Beispielen erläutert:

Aus der statistischen Thermodynamik lässt sich herleiten, dass die Zahl der Moleküle, die sich in einem ange-

regten Zustand befinden, proportional dem Boltzmannfaktor $\exp(-\epsilon/kT)$ ist. Dabei ist ϵ die Energie, die erforderlich ist, um das Molekül in den angeregten Zustand zu versetzen, k die Boltzmannkonstante, d. h. die auf das einzelne Molekül bezogene Gaskonstante und T die absolute Temperatur. Mit Hilfe dieses Gesetzes lässt sich nicht nur die Zahl der angeregten Moleküle und damit die spezifische Wärme der festen Körper und des Schwingungs- und Rotationsanteils der spezifischen Wärme der Gase berechnen, sondern auch z. B. die Zahl der ionisierten Atome nach der Eggert-Saha-Gleichung. Es bildet damit die Grundlage für die Ermittlung der spezifischen Wärme und der Leitfähigkeit von Gasplasmen. Es ist aber auch massgebend für den Verlauf der Dampfdruckkurve (Formel von August), denn um zu verdampfen, muss dem Molekül eine gewisse Energie ϵ zur Verfügung stehen. Ebenso ist die «Verdampfung von Elektronen» aus einem Glühdraht, d. h. die für die gesamte Röhrentechnik wichtige Glühemission wie auch die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Halbleitern durch dieses Gesetz beherrscht. Als Arrheniusgleichung dient es zur Berechnung der Abhängigkeit der Geschwindigkeit chemischer Reaktionen von der Temperatur. Schliesslich begegnet es uns bei der Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Flüssigkeiten, der Alterung von Kunststoffen und des Verderbs von Lebensmitteln, so weit dieser nicht durch Mikroorganismen verursacht ist. Es sind dies nur einige aus verschiedenen Gebieten gewählte Anwendungsfälle, die sich fast beliebig vermehren lassen.

Als zweites Beispiel lässt sich das Problem der Keimbildung anführen. Die hauptsächlich von Volmer und seiner Schule ausgearbeitete Theorie ist anwendbar auf die Entstehung von Kristallkeimen in abkühlenden Schmelzen und Lösungen und lässt damit wenigstens gewisse Schlüsse zu, ob unter gegebenen Bedingungen ein feinkristallines, grobkristallines oder gar ein glasiges Gefüge zu erwarten ist. Die Keimbildung ist aber auch massgebend für viele Vorgänge in der Atmosphäre, sie bildet die Grundlage der Wilsonkammer und der neuerdings für die Kernphysik so wichtigen gewordenen Blasenkammern. Schliesslich ist sie auch bestimmend für die Kavitation, für die Vorgänge in der Nassdampfturbine und für die Güte gefrorener Lebensmittel.

Man erkennt aus diesen beiden Beispielen, wie jeweils vom Verständnis einer Tatsache aus viele Beobachtungen zu deuten sind. Dies muss aber das Ziel des Unterrichts bleiben.

Ein weiteres für den Verfahrensingenieur unerlässliches Gebiet stellt die Mehrstoffthermodynamik dar. Die Naturprodukte sind meist Gemische, und auch bei vielen Synthesen fallen zunächst Gemische an. Sie müssen zerlegt werden, um reine Stoffe zu erhalten. Darum gehören mechanische und thermische Zerlegungsverfahren zu den wichtigsten Prozessen der chemischen Industrie. Praxis und Theorie dieser Verfahren haben in den letzten Jahren durch die für die Kerntechnik wichtigen Isotopentrennverfahren einen ungeheuren Aufschwung erfahren.

Endlich ist auch die Reaktionskinetik, d. h. die Lehre von der Geschwindigkeit chemischer Reaktionen, ein für den Verfahrensingenieur unerlässliches Rüstzeug.

8. Neue theoretische Grundlagen

Zu den bisher genannten Fächern treten noch einige neue Gebiete, deren theoretische Grundlagen erst in den letzten Jahren eigens für die Verfahrenstechnik geschaffen wurden. Zu nennen sind hier z. B. die vom Physiker und Nobelpreisträger Dirac aufgestellte Wertfunktion (Value Function) und die Untersuchungen über Verweilzeitspektren. Während die Erstgenannte allgemein anwendbare Gleichungen liefert, um die verfahrenstechnisch und wirtschaftlich günstigste Schaltung vieler Einzelemente zu einer grösseren Einheit zu ermitteln, soll die Theorie der Verweilzeitspektren die Berechnung der Zeiten ermöglichen, während denen die einzelnen Flüssigkeitselemente in irgend einem Apparat bleiben. Diese Aufgabenstellung gehört an sich in das Gebiet der Strömungslehre, wurde hier aber nicht bearbeitet, da es bei einer einheitlichen Flüssigkeit, die in dem betreffenden Apparat nicht irgendeine zeitabhängige, z. B. chem. Ver-

änderung erfährt, gleichgültig ist, ob einzelne Flüssigkeitselemente länger oder kürzer im Apparat bleiben. Für die Güte eines chem. Produktes ist aber häufig die Zeit, während der es irgendeiner Einwirkung (Temperatur, Druck, pH-Wert, Wirkung eines Katalysators) ausgesetzt ist, von ausschlaggebender Bedeutung. Es genügt nicht, wenn die *mittlere* Verweilzeit richtig eingestellt ist, sondern es sollte möglichst jedes einzelne Flüssigkeitselement mindestens während dieser und nur während dieser Zeit der betreffenden Wirkung ausgesetzt sein. Da sich dies aber mit technisch tragbarem Aufwand kaum erreichen lässt, ist man darauf angewiesen, einen annehmbaren Kompromiss zu schliessen. Die Verweilzeitspektren haben übrigens nicht nur für die Verfahrenstechnik Bedeutung, sondern z. B. auch für die Gewässerkunde (Verweilzeit des Wassers im Boden), für die Düngung und für die Medizin (Verweilzeit von Heilmitteln oder Giften im Körper).

Auch die Dimensionsanalyse und die Theorie der Modelle musste von neuen Grundlagen her aufgebaut werden. Während es besonders in der Strömungslehre üblich ist, die dimensionslosen Kennzahlen aus den Faktoren der Differentialgleichungen abzulesen, wäre dies für viele Gebiete der Verfahrenstechnik ein Umweg. Es wäre nämlich sehr unpraktisch, zunächst die Differentialgleichung aufzustellen, nur um dann daraus die dimensionslosen Kennzahlen herzuleiten. Viel einfacher ist es vom II-Theorem auszugehen. Es stellt nicht nur ein umfassendes Kriterium dar, um aus der grossen Mannigfaltigkeit der mathematisch möglichen Gleichungen diejenigen auszuwählen, die zur Beschreibung der Naturvorgänge brauchbar sind, sondern es weist uns auch einen sicheren und immer gangbaren Weg zu den Kennzahlen. Aehnlich wie der zweite Hauptsatz der Thermodynamik gelangt es ausgehend von einer fast selbstverständlich anmutenden Behauptung zu weitgehenden Folgerungen.

Die Ausbildung des Ingenieurs darf sich jedoch nicht auf die Uebermittlung dieser Grundlagen beschränken, sondern muss zumindest auf einigen Teilgebieten zu speziellen Aufgaben vorstossen, um damit Stoff für Laboratoriums- und Konstruktionsübungen zur Verfügung zu haben und auch, um den Anschluss an die Praxis zu gewinnen. Aufsteigend von den Grundlagen bietet sich hier als nächste Schicht die Lehre von den Grundverfahren an¹⁾. Es werden dabei jeweils die Verfahren zusammengefasst, die dem glei-

1) Obwohl erstmals G. Lunge hier in Zürich auf sie hingewiesen hat, werden sie jetzt meist als «unit operations» bezeichnet.

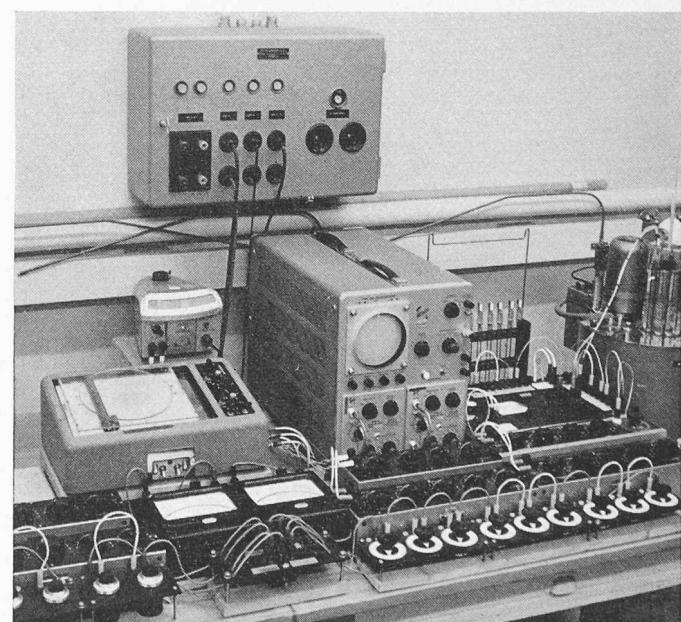


Bild 3. Apparatur zur Messung der Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten. (Die von dipl. Ing. W. Straumann im Institut für kalorische Apparate und Kältetechnik entwickelte Apparatur gestattet in etwa einer Minute die Wärmeleitfähigkeit einer Flüssigkeit mit einer Genauigkeit von $\pm 1\%$ zu messen.)

chen Zweck, z. B. der Zerkleinerung eines festen Stoffes oder der Zersetzung eines Gemisches, oder der Verdampfung oder der Wärmeübertragung dienen. Solche Grundverfahren sind z. B. Sieben, Filtern, Verdampfen, Sublimieren, Rektifizieren usw. Es handelt sich hierbei also um Verfahrensschritte, die bei der Herstellung sehr verschiedener chemischer Produkte in gleicher oder wenigstens ähnlicher Weise angewendet werden.

Für die Ausbildung des Verfahrensingenieurs genügt es, wenn er an Hand einiger weniger Beispiele erfährt, wie aus diesen Grundverfahren sich eine chemische Synthese — etwa die des Ammoniaks aus dem Synthesegas — aufbaut. Im Gegensatz zum chemischen Technologen braucht er jedoch nicht die Reaktionsfolge dieser Produktionsprozesse in allen Einzelheiten zu kennen.

Wünschenswert ist es ferner, wenn er sich einige Übung im praktischen Betrieb — «im Fahren» — von Anlagen (Bild 2) oder in der Ausarbeitung von Messverfahren (Bild 3) aneignet. Er wird sich dann erst all jener Schwierigkeiten bewusst, die überwunden werden müssen, bis ein Verfahren die Betriebsreife erlangt. Da während des Studiums bis zum Diplom hierzu kaum genügend Zeit zur Verfügung steht, wird dies im allgemeinen nur dann möglich sein, wenn der angehende Verfahrensingenieur auch nach dem Diplom — z. B. als Doktorand — an der Hochschule bleibt.

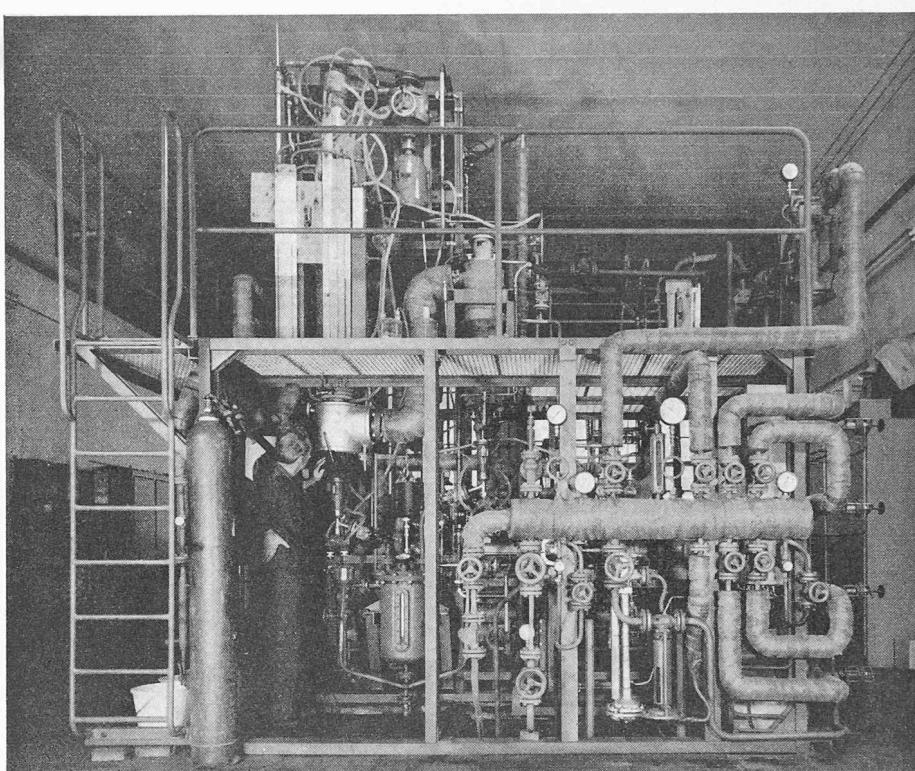


Bild 2. Luwa-Rektifikator. (Von der Luwa AG., Zürich, zur Durchführung einer Dissertation an das Institut für kalorische Apparate und Kältetechnik der ETH ausgeliehen.)

9. Gliederung des Gesamtgebietes

In den vier Spalten der Tabelle 3 sind die Möglichkeiten zur Gliederung des Gebietes zusammengestellt.

Tabelle 3. Gliederung des Gesamtgebietes der Verfahrenstechnik [12]

Chemische Technologie	Chemie-Ingenieur-Technik bzw. Verfahrenstechnik	Physik und physikalische Chemie	Mathematik und Logik
Beschreibung der Herstellungsverfahren einzelner Stoffe oder Stoffgruppen	Lehre von den Grundverfahren (= unit operations)	Physikalische und physikalisch-chemische Grundlagen	Aufstellung allgemein logischer Verknüpfungen
Erzeugung und Verarbeitung metallischer und nicht metallischer Werkstoffe	Werkstoffe, Zerkleinerung	Mechanik, Physik des festen Körpers und Festigkeitslehre	Erhaltungssätze und Bilanzgleichungen Statistik
Anorganisch-chemische Grundstoffindustrien, Düngemittel	Mechanische Trennprozesse (Sieben, Sichten, Filtern, Zentrifugieren, Flotation) Rohrleitungen und Armaturen	Strömungslehre, Hydro- und Aerodynamik	Aehnlichkeitsgesetze
Organisch-chemische Grundstoffindustrien, Kohleveredelung, Erdölveredelung, Kunststoffe	Pumpen Kompressoren Vakuumtechnik Wärmeerzeugung	Thermodynamik	Potentialtheorie und Potentialströmungen (Differentialgleichungen ohne Ableitung nach der Zeit)
Organische Veredelungsindustrien, Farben, Pharmazie, Schädlingsbekämpfungsmittel	Kälteerzeugung	Thermodynamik der irreversiblen Prozesse	Ausgleichsvorgänge Differentialgleichungen mit 1. Ableitung nach der Zeit)
Nahrungs- und Genussmittelindustrie	Wärmeübertragung Thermische Trennprozesse (Verdampfen, Sublimieren, Destillieren, Extrahieren, Rektifizieren) Verbrennung, Reaktoren	Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch	Schwingungsvorgänge (Differentialgleichungen mit 1. Ableitung nach der Zeit)
		Chemische Kinetik	

Für den Chemiker ist der gegebene Ausgangspunkt die erste Spalte, wird er doch zunächst danach fragen, wie ein bestimmter Ausgangsstoff umgewandelt wird, welche Reaktionen sich hierbei abspielen, und erst dann nach den Apparaturen fragen, in denen diese Umwandlungen durchgeführt werden können. Um ein chemischer Technologe zu werden, muss er freilich auch darüber gut Bescheid wissen, muss sich also auch in den Gebieten der zweiten Kolonne gut auskennen. Von dem schon abstrakteren Wissen der dritten Kolonne sollte er wenigstens noch die Grundlagen soweit beherrschen, dass er sich mit dem Ingenieur verständigen kann.

Es wäre anzustreben, dass die Ausbildung des Verfahrensingenieurs von der vierten Spalte ausgeht. Aber noch sind wir nicht soweit, dass das ganze Gebiet sich von diesen übergeordneten Gesichtspunkten einheitlich darstellen liesse. Auch würden diese oft sehr abstrakten Gedankenkonstruktionen den meist anschaulich denkenden Ingenieuren wenig zusagen. So wird die Ausbildung sich um die Fächer der dritten Spalte zu gruppieren haben. Sie sind aber gerade diejenigen, die auch den Schwerpunkt der Ausbildung des Maschineningenieurs ausmachen. Während aber dieser nur einige der Gebiete der zweiten Spalte kennen muss, wird dies für den Verfahrensingenieur zur Notwendigkeit. Liegt doch hier das Gebiet, auf dem er mit dem chemischen Technologen zusammenarbeiten wird.

Literatur

- [1] VDMA, *Mehr Technik — mehr Ingenieure*, S. 41, Maschinenbau-Verlag GmbH., Frankfurt/Main, 1957.
- [2] H. H. Schrader: *Die wirtschaftliche Entwicklung der westdeutschen Kälteindustrie, «Kältetechnik»* 11 (1959) S. 351.
- [3] M. Jul: *The Role of Refrigeration in the World's Food Supply* (Vortrag auf dem 10. internationalen Kältekongress 1959 in Kopenhagen).
- [4] «*VDI-Nachrichten*» vom 10. 10. 59, S. 2.
- [5] Verfahrenstechnik, herausgegeben von der Fachgruppe Verfahrenstechnik im VDI Frankfurt/Main, 1959, S. 94.
- [6] Nach F. Baade: *Weltenergiewirtschaft*, S. 35, Rowohlt Verlag Hamburg, 1958.
- [7] «*Fortschritte der Verfahrenstechnik*» Bd. 3, 1956/57. Herausgegeben von H. Miessner und U. Grigull, Verlag Chemie, Weinheim-Bergstrasse, 1958.
- [8] Vergl. dazu Bd. 2 der «*Fortschritte der Verfahrenstechnik*» [7], S. 280.
- [9] VDI-Tätigkeitsbericht 1958, S. 43, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [10] Vergl. dazu z. B. die Aufsätze des Verfassers in «*Kältetechnik*» 2 (1950) S. 183/87; 3 (1951) S. 308/12 und «*Schweiz. Bauzeitung*» 71 (1953) S. 285/88 mit der inzwischen tatsächlich eingetretenen Entwicklung.
- [11] R. Söhngen: *Rationalisierung verfahrenstechnischer Anlagen* durch Verwendung von Normeinheiten, «*Chem. Ing. Technik*» 31 (1959) S. 175.
- [12] Dozententagung Verfahrenstechnik vom 6. bis 8. 4. 1959 in Leverkusen, «*Chem. Ing. Technik*» 31 (1959) S. 540.
- [13] Aus P. Grassmann: *Physikalische Grundlagen der Chemie-Ingenieur-Technik*, Verlag Sauerländer in Aarau und Frankfurt/Main, 1960.
- [14] Jahrestreffen 1959 der Verfahrens-Ingenieure vom 4. bis 7. Oktober 1959 in Essen, «*Chem. Ing. Technik*» 31 (1959) S. 748/750.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. P. Grassmann, Vorstand des Instituts für kalorische Apparate und Kältetechnik an der ETH., Zürich

Gedanken über den Naturschutz

Von A. Ostertag, dipl. Ing., Zürich

DK 719.009

Fortsetzung von Seite 15

5. Natureingriffe und Güterverbrauch

Die Frage des Naturschutzes ist mit unserem Vorschlag betreffend die Mittelbeschaffung noch keineswegs beantwortet. Ihr Schwerpunkt liegt nur zum geringsten Teil in der Durchführung von Schutzmassnahmen und im Beibringen der dazu nötigen Gelder. Um diesen Sachverhalt deutlich zu machen, sei zunächst die widerspruchsvolle Lage bedacht, in die der Vorschlag einer grosszügigen Finanzierung naturschützlerischer Anliegen zwangsläufig hineinführt.

Der Schutz bezweckt, wie eingangs gesagt wurde, das Ueberhandnehmen künstlicher Eingriffe zu verhindern. Er richtet sich also grundsätzlich gegen die Erwerbstätigkeit, von der nicht auszumachen ist, welcher Teil unumgänglich notwendig und welcher überflüssig, also vermeidbar ist. Es darf hierbei nicht ausser acht gelassen werden, dass der Bevölkerung, damit sie würdig und sicher leben kann, gar nichts anderes übrig bleibt, als in stets steigendem Masse Rohstoffe zu Gebrauchsgütern zu verarbeiten und sich dazu der Möglichkeiten zu bedienen, welche die Natur hiefür bietet. Nur solche Tätigkeit ist produktiv, jede andere ist es nur in dem Masse, als sie dieser auf irgend eine Weise dient.

Der Schutz besteht grundsätzlich im Schaffen und Bewahren von Gärten für die Seele, dass sie sich im Ursprünglichen, Unverfälschten, Eigenen finde. Er soll, wie vorgeschlagen wurde, mit Hilfe von Geldern aus der Industrie verwirklicht werden. Als solche kommen nur Ueberschüsse an Erträgnissen in Frage, die sich aus der Industriearbeit ergeben. Nun besteht aber diese Arbeit im Umwandeln von Rohstoffen und Rohenergien zu menschlichen Werten. Die Erträgnisse sind somit nur durch Eingreifen in die Natur zu erzielen, also gerade durch das, was mit Hilfe «der Technik» (= Industrie) verhindert werden soll.

Was bei diesem Wirkzusammenhang die Widersprüchlichkeit auf die Spitze treibt und nur selten richtig gesehen wird, ist der Umstand, dass es immer der *selbe* Mensch ist, der als Erwerbstätiger unmittelbar (Landwirt, Techniker) oder mittelbar (alle andern) in die Natur eingreift, um sie umzugestalten, der als Konsument Umgestaltetes gebraucht, um sein Dasein zu fristen und zu verschönern, der die Natur in ursprünglichem Zustand erhalten möchte, um seinen seelischen und geistigen Bedürfnissen zu genügen, der sie also dazu vor seinen eigenen Eingriffen bewahren müsste, und der schliesslich die zu solcher Bewahrung nötigen Mittel nur durch verstärkte, die Landschaft beeinträchtigende Erwerbstätigkeit herbeischaffen können.

Wer diese Wirkkette sachlich überdenkt, wird einsehen, dass eine Mittelbeschaffung durch die Industrie grundsätzlich verkehrt wäre. Der Vorschlag wendet sich gegen Oberflächenerscheinungen; er trifft nicht den Kern der Notlage. In der Tat ist die Frage nach der Ursache jener Eingriffe, die verhindert werden sollen, gar nicht gestellt worden. Man erklärte von vorneherein «die Technik, die so und so viele Naturschönheiten zerstört» hätte, als schuldig, eröffnete den Nervenkrieg gegen sie und stellt nun mit Enttäuschung fest, dass den idealen Bestrebungen, in deren Namen gekämpft wird, kein Erfolg beschieden ist. Solch unbedachtes Vorprellen zur Tat, wo immer sich ein Notstand abzeichnet, ohne vorher dessen Ursachen ernsthaft zu suchen, kennzeichnet nicht nur die Naturschutzeute. Es liegt in der unseligen Unrat unserer Zeit, die uns glauben lässt, Taten würden mehr zählen als Einsichten. Wenn aber im politischen und im Erwerbsleben bedenkenlos mit derartigen verkehrten Masstäben gemessen wird und die rechten nicht mehr zur Hand sind, so werden sie auch ebenso bedenkenlos angewendet, wo es um Menschenchicksale und um ideale Bestrebungen geht.

Damit die Frage nach der Ursache der vermeidbaren Eingriffe beantwortet werden kann, ist zunächst das Geschehen im technisch-wirtschaftlichen Raum in seinen wesentlichen Zügen zu betrachten. Da wäre vorerst festzustellen, dass der Güterfluss immer bei den natürlichen Lagerstätten von Rohstoffen und Rohenergien beginnt. Er durchläuft dann in vielfältigen Verästelungen die Herstellungsketten der Industrie sowie die Transport- und Verteilwege des Handels und endet schliesslich bei bestimmten Käufern, die das Gekaufte für ihren Eigenbedarf gebrauchen. Auf den weiten, mannigfach verschlungenen Wegen, die die einzelnen Güter zurücklegen, treten die verschiedensten Verluste auf. Diese vermögen aber die Tatsache keineswegs aufzuheben, dass eine eindeutige und zwingende Zuordnung zwischen Anfang und Ende der einzelnen Wege, also zwischen dem besteht, was abgebaut werden muss, und dem, was der einzelne Verbraucher tatsächlich kauft.

Es liegt nun im Wesen freien wirtschaftlichen Handelns, dass die Aufwendungen für Abbau, Verarbeitung, Transport und Verteilung bis zum letzten Verkauf so niedrig wie