

Hochschulausbildung in Verfahrenstechnik

Von P. GRASSMANN

Institut für Kalorische Apparate, Kälte- und Verfahrenstechnik der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich

1. Was ist Verfahrenstechnik?

Durch die Wissenschaft sucht der Mensch die Umwelt gedanklich zu erfassen und logisch zu ordnen, durch die Technik, sie seinem Willen gemäß zu gestalten und zu wandeln. Diesem Gestaltungs- und Wandlungswillen unterworfen wird die Energie, die Materie und die Information (Tabelle 1).

Tabelle 1

Masse	Energie	Information
Änderung der geometrischen Form	Änderung der Struktur	Umwandlung der Energieformen
Fertigungstechnik	Verfahrenstechnik	Energietechnik
		Aufnahme, Übermittlung, Speicherung, Verwertung
		Kybernetik

Die Energietechnik erstrebt, die von der Natur gegebenen Primärenergien (Kernenergie, Brennstoffe, Wasserkraft usw.) in die für uns geeignetsten Energieformen zu wandeln.

Um die Materie für unsere Zwecke nutzbar zu machen, muß meist sowohl ihre innere Struktur wie auch ihre äußere Form geändert werden. Die erste Aufgabe führt zur Verfahrenstechnik, im weitesten Sinne verstanden; die zweite zu jenem großen Gebiet des Maschinenbaues, das sich mit den technischen Methoden befaßt, einem Werkstück die gewünschte Form aufzuzwingen.

Endlich wird in Informationstheorie und Nachrichtentechnik die Aufnahme, Speicherung, Übermittlung und Nutzbarmachung von Nachrichten aller Art untersucht.

Fast jedes dieser Gebiete greift über die an Hochschulen bisher üblichen Fakultäts- bzw. Abteilungsgrenzen hinaus. Die Energietechnik beispielsweise gehört mit rund gleichen Anteilen zum Maschinenbau (Verbrennungsmotoren, Turbinen) wie zur Elektrotechnik (Generatoren, Energieübertragung). Die Informationstechnik reicht von der Mathematik über Elektrotechnik bis in die Sprachwissenschaften hinüber.

Ziel der Verfahrenstechnik ist es also, die innere Struktur der Stoffe zu ändern. Deshalb hätte man ihr vielleicht treffender den Namen «Stoffwandlungstechnik» zugelegt. Da sich aber das Wort «Verfahrenstechnik» im deutschen Sprachgebrauch eingebürgert hat, sei es bei-

behalten. Die Fachgruppe Verfahrenstechnik des VDI definiert seinen Begriffsinhalt wie folgt:

«Verfahrenstechnik ist die ingenieurwissenschaftliche Disziplin, die sich mit der technisch-wirtschaftlichen Durchführung aller Prozesse befaßt, in denen Stoffe nach Art, Eigenschaften oder Zusammensetzung verändert werden.»

Diese Veränderungen können verschiedener Art sein:

1. Weitgehend mechanischer Art (z.B. Zerkleinerung und Agglomerieren, sowie die mechanischen Trennprozesse: Sieben und Sichten, Filtrieren, Sedimentieren usw.). Dabei sind die zu trennenden oder zu verbindenden Partikeln groß gegenüber einzelnen Molekülen.
2. Weitgehend thermodynamischer Art (Phasenumwandlungen als Selbstzweck und als Mittel zur Zerlegung molekularer Mischungen). Die zu trennenden oder zu vereinigenden Teilchen haben die Größe von Molekülen.
3. Weitgehend chemischer Art (Durchführung chemischer Reaktionen im technischen Maßstab, meist zum Zwecke der Synthese, z.B. von Kunstdünger, Farbstoffen, Pharmazeutika usw.). Hierbei werden also Molekülbestandteile getrennt oder vereinigt.
4. Gelegentlich werden als «Kernverfahrenstechnik» noch die technischen Prozesse der Kernwandlung mit einbezogen. Hierbei werden also Kernbausteine getrennt oder vereinigt.

Um diesen weitgespannten Rahmen mit Inhalt zu füllen, sind im mittleren Teil von Tabelle 2 einige Anwendungsgebiete angegeben. Um die sehr enge Verwachsung mit den beiden wichtigsten Nachbargebieten, dem Maschinenbau und der technischen Chemie, zu zeigen, ist oben eine Reihe von Gebieten angegeben, die wohl am besten vom Maschineningenieur, unten solche, die vom technischen Chemiker zu bearbeiten sind. Gezeigt werden soll durch diese Darstellung vor allem, daß es eine praktisch lückenlose Reihe von Problemen gibt, bei denen sich das Gewicht mehr und mehr vom Maschinenbau zur technischen Chemie verlagert.

Um die Angaben auch nach einem zweiten Gesichtspunkt zu ordnen, sind die einzelnen Anwendungsbereiche um so weiter rechts eingetragen, je mehr Thermodynamik für ihre Bearbeitung erforderlich ist. Damit

gelangt man vom eindimensionalen Spektrum, in dem die Teilmengen nur nach einem Gesichtspunkt – beim optischen Spektrum nach der Wellenlänge – geordnet sind, zu einer zweidimensionalen Anordnung, die etwa einem zweidimensionalen Chromatogramm zu vergleichen sind.

Natürlich ist diese Einordnung, wie besonders auch die Kennzeichnung der sich auf jeden Fall weitgehend überlappenden Gebiete «Verfahrenstechnik» und «Chemie-Ingenieur-Technik», bis zu einem gewissen Grad eine Ermessensfrage. Wie man aber auch bei der Bezeichnung des optischen Spektrums mit den Farben Rot, Gelb, Grün, Blau und Violett zur Vermeidung von Mißverständnissen sich an den allgemeinen Sprachgebrauch halten muß, so sollte man auch hier bestrebt sein, der eingebürgerten Nomenklatur zu folgen. Hierauf ist besonders bei der Bezeichnung von Ausbildungsrichtungen und Studiengängen zu achten, da sonst einerseits der Studienanfänger eine falsche Richtung ergreifen könnte, andererseits bei Stellenangeboten nicht klar ersichtlich wäre, welche Fähigkeiten der betreffende Anwärter besitzen sollte.

2. Unterteilung in Wissensgebiete

Natürlich wäre der Industrie mit dem Universalgenie, das sowohl schwierige mathematische Methoden zu handhaben weiß wie auch gediegene Kenntnisse in der organischen, möglichst auch noch in der Biochemie, besitzt, am besten gedient. Interesse und Begabung auf zwei ihrem Wesen nach so verschiedenen Gebieten treffen aber kaum je in einer Person zusammen. Zwar gibt es natürlich Forscher, die chemische Probleme mit schwierigen mathematischen Methoden behandeln, z. B. ausgehend von den gegebenen Differentialgleichungen der Kinetik schwierige Reaktionsabläufe berechnen, aber ihre Arbeitsweise entspricht dann weitgehend der des Mathematikers und nicht der des Chemikers. Auf der anderen Seite gibt es nur wenige eigentliche Chemiker, die die Methodik der Mathematik virtuos beherrschen. Dies ist ein typischer Unterschied zum Ingenieur und Physiker. Alle ihre Gedankenmodelle, durch die sie die Umwelt zu erfassen trachten, sind der mathematischen Beschreibung zugänglich. Betrachtet man hier sowohl die Forscherpersönlichkeiten wie die Literatur, so gewinnt man den Eindruck einer lückenlosen «Mischkristallreihe», auf deren einer Seite der «reine» Ingenieur oder Physiker – beide unterscheiden sich heute hauptsächlich hinsichtlich der Zielsetzung ihrer Arbeit, aber oft kaum noch hinsichtlich ihrer Arbeitsmethode –, auf deren anderer der reine Mathematiker steht. Im Mischungsdreieck mit den drei Ecken Mathematik, Physik und Chemie besteht also sowohl zwischen Mathematik und Physik wie zwischen Physik und Chemie vollkommene Mischbarkeit, offenbar aber nicht zwischen Mathematik und Chemie. Ein solches Dreieck mag sehr hübsch und symmetrisch aussehen, aber hüten wir uns

davor, dieser Symmetrie zu vertrauen, ehe wir sie kritisch geprüft haben!

Wenn auch im modernen Unterricht das weite Gebiet der Verfahrenstechnik nicht mehr als ein Sammelsurium von Grundoperationen (= *unit operations*) dargestellt, sondern logisch auf seinen Grundlagen¹ aufgebaut wird, so können doch innerhalb der gegebenen Studienzeit nicht einmal die Grundlagen für die Bearbeitung aller Gebiete übermittelt werden, die in Tabelle 2 aufgeführt sind. Auch darf sich der Unterricht nicht auf eine Vermittlung der Grundlagen beschränken, es muß zumindest an einigen ausgewählten Beispielen ihre Anwendung auf praktische Probleme gezeigt werden. Man mußte sich also dazu entschließen, die Aufgaben zu teilen. Bekanntlich ist man dabei schon vor Jahrzehnten einerseits in den angelsächsischen Ländern, andererseits in Deutschland etwas verschiedene Wege gegangen. In Großbritannien und in den Vereinigten Staaten schuf man meist eigene Departments für «Chemical Engineering», in Deutschland gliederte man den Maschinenbauabteilungen Fachrichtungen für Verfahrenstechnik an, wobei oft auch der Name der Abteilung etwa in «Maschinenbau und Verfahrenstechnik» geändert wurde. Andererseits wurde an den Abteilungen für Chemie der technischen Chemie – oft auch unter anderen Namen – ein breiteres Feld eingeräumt.

Aus dem Für und Wider beider Lösungswege ist fast ein Glaubensstreit geworden. Ich glaube aber, es ist nutzlos, über die absolut beste Lösung zu diskutieren. Unsere Aufgabe muß vielmehr sein, die den jeweiligen zeitlichen und örtlichen Verhältnissen am besten angepaßte Lösung zu finden. Hochschulprofessoren sind keine Normteile, aus denen an einem beliebigen Ort ein funktionsfähiges Ganzes nach universellem Plan zusammengebaut werden kann. Die Vorbildung der Maturanden und besonders auch die Anforderungen, die an den von der Hochschule kommenden Ingenieur in der Industrie herantreten, sind von Land zu Land allzu verschieden. Pragmatismus dürfte also besser als Dogmatismus sein, eine sorgfältige Erforschung der derzeitigen örtlichen Bedürfnisse und Möglichkeiten besser als die Kopie eines Vorbildes oder Zusammenstellung eines idealen Studienplanes durch Mittelbildung der Studienpläne einiger führender Hochschulen. Die Qualität des Unterrichts ist meist wichtiger als der Streit um Stunden!

Durch die Neubesetzung von zwei Lehrstühlen an der Abteilung für Chemie und durch den Vorstoß einer von Herrn Direktor GMÜR präsierten Kommission beim Schweizerischen Schulrat ergab sich die Notwendigkeit, die bei uns laufend bearbeitete Frage der Ausbildung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) neu zu überdenken. Vor allem mußte dem berechtigten Wunsche der Industrie entsprochen werden, Chemie und

¹ P. GRASSMANN, *Physikalische Grundlagen der Chemie-Ingenieur-Technik*, 1. Auflage (vergriffen), Sauerländer, Aarau 1961; 2. Auflage, englische und spanische Ausgabe zur Zeit im Druck.

Tabelle 2. Verfahrenstechnik und Nachbargebiete

		Wachsender Anteil der Thermodynamik →	
		Mechanisch	Thermisch
Wachsender Anteil der Chemie	Maschinenbau	Verpackungsmaschinen	
	Apparatabau	Pumpen K *	Kompressoren
VERFAHRENSTECHNIK		Zerkleinerungsmaschinen	Kaltdampfmaschinen
		Filter K, Zentrifugen K	
		Tablettierung, Brikettierung	
		Kneter und Mischer K	Vakuumtechnik
			Trockentechnik
		Luftreinigung: Zyklon, Filter, Elektrofilter	Klimatechnik
		Pneumatisches und hydraulisches Fördern	Wärmeaustauscher Verdampfer Kondensatoren
		Hochdrucktechnik K	
		Pumpen A *	Thermische Trennverfahren: Rektifikation, Extraktion, Ad- und Absorption, Kristallisation, Zonenschmelzen, Chromatographie, Elektrophorese, Meerwasserentsalzung
		Kompressoren A	
Technische Chemie	Chemie-Ingenieur-Wesen		Flotation
			Abwasserreinigung
			Lebensmittel- und Futtermitteltechnologie
		Kneter und Mischer A	Reaktoren K
	Filter A	Biomedical Engineering	
		Wasserenthärtung	Technische Reaktionsführung
		Systems Engineering	Desodorisierung
			Reaktoren A
		Aufbau chemischer Produktionsanlagen aus genormten Elementen	

* K = Konstruktion; A = Anwendung.

physikalische Chemie im Unterricht für Verfahrenstechnik wesentlich stärker zu berücksichtigen.

Zunächst wurde versucht, der englischen Unterrichtsmethode folgend, eine eigene Abteilung für Chemie-Ingenieur-Wesen oder Verfahrenstechnik zu schaffen. Nach vielen Verhandlungen mit Vertretern der Abteilung Chemie gelangte der Verfasser jedoch zur Überzeugung, daß ein solcher Zusammenschluß unter den an der ETH gegebenen Verhältnissen zu einer fast vollständigen Elimination der Ingenieurfächer in den ersten vier Semestern geführt hätte. Im Hinblick auf eine gediegene ingenieurmäßige Ausbildung konnte der Unterzeichnete einem solchen Studienplan, der einen vollständigen Bruch der Tradition seines Instituts bedeutet hätte, nicht zustimmen.

Es wurde deshalb beschlossen, einerseits an der Abteilung für Maschineningenieurwesen eine Fachrichtung «Verfahrenstechnik», andererseits an der Abteilung für Chemie eine Richtung Chemie-Ingenieur-Wesen aufzubauen. Dadurch ist die Gewähr einer gediegenden Grund-

lage einerseits in den Ingenieurfächern (Mechanik, Strömungslehre, technische Thermodynamik, Maschinenelemente), andererseits in Chemie und physikalischer Chemie gegeben.

Meiner Meinung nach hat diese Regelung auch über die zeitbedingte Notwendigkeit hinaus ihre Berechtigung. Ich habe schon oben auf die Unterschiede zwischen der Chemie und den axiomatisch-mathematisch fundierten Ingenieurwissenschaften hingewiesen. Ist es zweckmäßig, zwei doch so verschiedene Gebiete in einem Ausbildungsgang zu vereinen? Finden sich genügend Studenten, die an dem einen wie an dem anderen Interesse finden, für beide begabt sind? Man kann auf die Erfolge der englischen und amerikanischen Ausbildungsmethode hinweisen, muß sich aber darüber im klaren sein, daß die Voraussetzungen dort schon hinsichtlich des der Hochschule vorangehenden Unterrichts wie auch hinsichtlich des Unterrichts in den ersten Hochschulseminestern sehr verschieden von denen in der Schweiz sind. Auch dort wird die Aufteilung des Unterrichts in einen ingenieur-

mäßig orientierten Zweig («Design Bias») und einen stark chemisch orientierten Zweig («Chemical Process Bias») vorgeschlagen und teilweise auch durchgeführt², die sich sehr stark voneinander unterscheiden.

Jede Verschmelzung zweier verschiedenartiger Gebiete ist reizvoll und kann zu einem einheitlichen Ganzen führen. Ein leuchtendes Beispiel ist hier die physikalische Chemie. Auch sie konnte aber nur diejenigen Teile der Chemie in ihr Lehrgebiet einschmelzen, die, wie die Lehre vom Gleichgewicht, die Kinetik, die Elektrochemie usw. einer mathematisch-physikalischen Behandlung zugänglich sind. Es ist möglich, daß auch die «Verfahrenstechnik» oder «Chemie-Ingenieur-Technik» – hoffentlich ist bis dahin auch ein neuer, treffenderer Name gefunden – sich in zehn oder zwanzig Jahren zu einem solchen einheitlichen Gebiet entwickelt hat. Dazu bedarf es aber weniger des Beschlusses von Kommissionen, sondern der Geistesarbeit führender Forscher. Vor allem wäre hierzu eine viel stärkere mathematische Durchdringung, geradezu ein axiomatischer Aufbau eines großen Teiles der Chemie erforderlich. Heute sind wir noch weit von diesem Ziel entfernt. So haftet jedem Versuch, einen gemeinsamen Lehrplan zu schaffen, der halb auf Chemie, halb auf den mathematisch exakten und axiomatisch aufgebauten Grundlagenfächern des Maschinenbaues sich erhebt, der Verdacht des Zusammenfügens zweier Halbheiten, die sich nicht zum Ganzen vereinigen, an.

So dürfte es sinnvoll sein, das große und sich stetig weitende Gebiet der Verfahrenstechnik-Chemie-Ingenieurwesen aufzuteilen, um nicht Zwitter auszubilden, die weder in Chemie und physikalischer Chemie noch in den Ingenieurwissenschaften eine feste Grundlagen haben. In den Vereinigten Staaten ist eine gewisse Aufteilung bereits durch die verschiedene Gewichtsverteilung an den einzelnen Hochschulen gegeben. So kann sich jede Firma einen Ingenieur des ihr zusagenden Typs auswählen. In der Schweiz mußte aber von bisher nur einer Hochschule aus das gesamte breite Spektrum des Bedarfs gedeckt werden. Dies spricht gegen die Festlegung auf einen einzigen Studienplan. Ohnehin muß zur intensiven Betreuung der Studenten die Unterrichtsverpflichtung auf mehrere Dozenten verteilt werden. Es ist dann besser, nicht – wie an manchen Hochschulen in den Vereinigten Staaten – Parallelvorlesungen zu veranstalten, sondern den individuellen Bedürfnissen der Studenten durch verschiedene Vorlesungen zu entsprechen.

So ergänzen sich beide Fachrichtungen gegenseitig; die eine wäre ohne die andere nur eine Teillösung.

3. Was soll in «Verfahrenstechnik» gelehrt werden?

Damit stellt sich für die für den Studienplan an der Abteilung für Maschineningenieurwesen Verantwortli-

chen die Aufgabe, die Bedürfnisse an Wissensstoff und Kenntnissen sehr sorgfältig abzuklären und mit den derzeitigen und noch zu schaffenden Möglichkeiten der Hochschule in Übereinstimmung zu bringen. Wenn auch die entsprechenden Fachprofessoren – wie übrigens fast alle Fachprofessoren der Abteilung für Maschineningenieurwesen der ETH – eine langjährige Industrietätigkeit, das ist: Verhandlung mit dem Kunden, Forschungs- und Entwicklungsarbeit, Planung und Berechnung, Konstruktion, Montage und Übergabeversuche, in ihrer vollen Breite erleben konnten, so kann dies allein noch nicht genügen, einen dem Schwerpunkt der Wünsche entsprechenden Studienplan aufzustellen. Besprechungen mit führenden Fachleuten der Industrie sind wertvoll, jedoch besteht die Gefahr, dabei diejenigen auszuwählen, die eine Meinung vertreten, welche der eigenen nahe kommt. So wurde auch auf andere Art versucht, sich ein möglichst objektives Bild der Bedürfnisse zu verschaffen. Es wurden deshalb an 64, größtenteils in der Industrie tätige Herren Fragebogen versandt, in denen sie aufgefordert wurden, zu konkreten Fragen Stellung zu nehmen. Ausgewählt wurden hiezu meist Herren, die nach Abschluß ihrer Hochschullaufbahn – meist als Doktor der technischen Wissenschaften – schon fünf bis fünfzehn Jahre Berufstätigkeit hinter sich haben. Sie wissen nämlich einerseits, was die Berufsarbeit an Kenntnissen und Fähigkeiten erfordert, andererseits sind ihnen die derzeitigen Verhältnisse an der Hochschule noch vertraut. Auch ist es eine der wichtigsten Aufgaben der Hochschule, diejenigen Kenntnisse zu vermitteln, die man in den ersten zehn Jahren der Berufstätigkeit – die meist entscheidend für den späteren Aufstieg sind – benötigt. Für den strebsamen Ingenieur stehen dann später noch genügend Möglichkeiten offen, sich noch all das anzueignen, was er über das Hochschulwissen hinausgehend für die Erfüllung leitender Aufgaben benötigt. Übrigens hat diese Umfrage auch das Interesse von Soziologen im Ausland gefunden, die sich mit ähnlichen Problemen befassen.

Wichtigste Ergebnisse waren:

1. Die «Mechanik» soll im vollen Umfang, die «Maschinenelemente» nahezu im vollen Umfang beibehalten werden.
2. Der «Chemie» und der «physikalischen Chemie» sollen zusätzlich zu den 6 Stunden Vorlesung im 1. und 2. Semester noch je etwa 4 Stunden Vorlesung im 5. bis 8. Semester, nebst den entsprechenden Übungen und Praktika, eingeräumt werden.
3. 2 Stunden Vorlesung in «Reaktionstechnik» wird von 30% der Befragten als zu wenig angesehen.
4. Von ganz verschwindenden Ausnahmen abgesehen, wird allgemein die Aufteilung des Unterrichts in einen stark ingenieurmäßig orientierten Zweig «Verfahrenstechnik» an der Abteilung für Maschineningenieurwesen und einen stark chemisch orientierten Zweig an der Abteilung für Chemie für zweckmäßig gehalten.

² The Institution of Chemical Engineers, *Scheme for a Degree Course in Chemical Engineering*, London 1965.

4. Die Vielfalt der Aufgaben

Tabelle 2 zeigt die Vielfalt der Aufgaben, die an einen Verfahreningenieur herantreten. Er wird sie nur lösen können, wenn er in der «Mechanik» gelernt hat, komplizierte Vorgänge auf einfache Modelle zurückzuführen, und diese dann mathematisch streng zu bearbeiten, wenn er in den «Maschinenelementen» seinen Sinn für die «starken Konstruktionen» entwickeln konnte, weniger, um später selbst am Reißbrett zu stehen, sondern um die Zuverlässigkeit von Konstruktionen beurteilen und die ihm zugeteilten Ingenieure sicher führen und anregen zu können. Er wird nur Erfolg haben, wenn er nicht nur eine allgemeine Physikvorlesung gehört, sondern die für ihn besonders wichtigen Gebiete, wie Strömungslehre und technische Thermodynamik, erfaßt und anzuwenden gelernt hat. Natürlich könnte man in einem Studienplanentwurf die Behandlung dieser großen und anspruchsvollen Gebiete in eine kurze Vorlesung zusammenfassen. Es darf dann aber nicht mehr erwartet werden, daß der Student die dargelegten Methoden und Denkmodelle selbständig anwendet und sie sich seinen eigenen Gedanken organisch eingliedert haben. Hier ist die Aufgabe des Hochschullehrers der des Gärtners zu vergleichen, der zwar die günstigsten Bedingungen für das Wachstum schaffen kann, das Wachstum selbst aber erwarten muß.

Vom Verfahreningenieur werden schon heute gediegene Kenntnisse auf vielen Gebieten der Mathematik verlangt (gewöhnliche und einige typische partielle Differentialgleichungen, Vektor- und Tensoranalysis, Programmieren usw.). Die große Bedeutung von Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik für die Verfahrenstechnik ist seit Jahrzehnten allgemein anerkannt. Im Zuge der steigenden Durchdringung von Wissenschaft und Technik durch mathematische Methoden werden diese Anforderungen eher noch steigen. Beispielsweise erfordert die Lösung vieler Aufgaben der automatischen Regelung und auch die eingehendere Theorie der Verweilzeitpektren, die Beherrschung der Laplace-Transformationen und der Faltungsintegrale. Hier sind wir schon an der Grenze der Aufnahmefähigkeit vieler Maschineningenieure angekommen. Wollen wir uns die ohnehin schon fast unlösbaren Aufgaben des Unterrichts noch dadurch erschweren, daß wir vom gleichen Mann noch verlangen, daß er auch noch ein halber Chemiker sein sollte?

Ein zweiter Weg, sich Unterlagen für einen berufsgerichteten Studienplan zu verschaffen, ist die Analyse einiger typischer Probleme der Verfahrenstechnik und die Aufzählung desjenigen Grundlagenwissens, das zu ihrer Lösung erforderlich ist.

Mit Recht weist BOURNE³ auf die Komplexität der im Tieftemperaturgebiet durchgeführten Trennprozesse, z. B. bei der Zerlegung von Kohlenwasserstoffen, hin. Hier läßt sich eine wirtschaftliche Anlage nur durch eine

sorgfältige Abstimmung von Kälte- und Zerlegungsprozessen erzielen. Der planende Ingenieur muß also einerseits wissen, wo er eine Kaldampfmaschine, wo er eine Entspannungsmaschine und wo er eine Entspannungsturbine einsetzen kann, und unter welchen Temperatur- und Druckbedingungen solche Maschinen wirtschaftlich, betriebssicher und mit vertretbarem Wirkungsgrad arbeiten. Durch Aufstellung von Exergieflußbildern (erstmalig in⁴) muß er die thermodynamischen Verlustquellen aufdecken^{5,6} und versuchen, sie durch zweckmäßigere Anordnungen zu verkleinern. Er muß andererseits wissen, daß die Amortisationskosten zu einem wesentlichen Teil durch die Kosten der Kompressoren und Wärmeaustauscher gegeben sind und daß auch die Betriebskosten wesentlich von den Druckabfällen in den Austauschern abhängen. Hier kommt es also darauf an, betriebssichere, billige und zweckmäßige Konstruktionen zu finden. Die Berechnung der theoretischen Trennstufenzahl oder der Abscheidung in den Austauschern⁷ ist, soweit es sich um gesättigte Kohlenwasserstoffe handelt, vergleichsweise einfach, da diese untereinander ideale Lösungen bilden. Die Auslegung der Austauschböden erfordert gediegene Kenntnisse der Strömungslehre und konstruktives Können. Dies alles sind Kenntnisse, die schon seit neunzehn Jahren den Maschineningenieuren im Rahmen der Vertiefungsrichtung Verfahrenstechnik und Kältetechnik übermittelt werden.

In diesem Fall wäre also ein Ausbau in Richtung Chemie und physikalischer Chemie gar nicht erforderlich. Aber leider liegen die Verhältnisse oft wesentlich komplizierter. Sobald in den Mischungen auch ungesättigte Kohlenwasserstoffe auftreten, ergeben sich Abweichungen vom idealen Verhalten, die sich nur noch mit Hilfe der Begriffe Fugazität bzw. Aktivität und Aktivitätskoeffizient berechnen lassen. Auch erfordert beispielsweise die Ausarbeitung und Anwendung entsprechender Analysemethoden Kenntnisse in Chemie. Um hier nicht dauernd der Hilfe des Chemikers zu bedürfen, erscheint es zweckmäßig, auch dem Verfahreningenieur noch gewisse Kenntnisse in Chemie und physikalischer Chemie zu übermitteln.

Da die thermischen Trennprozesse schon seit über einem Vierteljahrhundert an der Abteilung für Maschineningenieurwesen gepflegt werden und gleichzeitig eines der Forschungsgebiete des Verfassers darstellen⁸, sei ein zweites Beispiel diesem Bereich entnommen. Bei flüchtiger Betrachtung könnte man der Meinung sein, für die Berechnung von Rektifizierapparaten wären die in der physikalischen Chemie übermittelten Grundlagen ausreichend. Es sind nämlich die Gleichgewichtskurven durch Gesetze der physikalischen Chemie weitgehend festgelegt, und auch die Berechnung der Diffusionskon-

⁴ P. GRASSMANN, *Chemie-Ingenieur-Technik* 22 (1950) 77.

⁵ S. ERGENC und J. HÄNNY, *Techn. Rdsch. Sulzer* 1963, 4, 197.

⁶ CH. TREPP, *Kältetechnik - Klimatisierung* 19 (1967) 286.

⁷ P. GRASSMANN, *Z. VDI, Beihefte Verfahrenstechnik* 1944, 3, 75.

⁸ P. GRASSMANN und Mitarbeiter, *Einführung in die thermische Verfahrenstechnik*, Verlag de Gruyter, Berlin 1967.

³ J. R. BOURNE, *Chimia* 23 (1969) 4, 125.

stante, die zusammen mit einer Reihe anderer Größen die Geschwindigkeit der Annäherung an das Gleichgewicht bestimmt, läßt sich nach den Methoden der physikalischen Chemie berechnen. Eine objektive Würdigung der Tatsachen liefert aber ein geändertes Bild: von den 55 Vorträgen anlässlich des «Internationalen Symposiums Destillation» in Brighton im Herbst dieses Jahres behandeln:

- 16 Vorträge Strömungsprobleme
- 5 „ Vorgänge des Stoffaustausches
- 14 „ Berechnung von Gleichgewichtskurven
- 6 „ Probleme der Berechnung mit Computern
- 5 „ konstruktive Fragen
- 8 „ Probleme der Regelung
- 1 Vortrag ein weitgehend chemisches Problem

Bei etwas mehr als der Hälfte der angeschnittenen Fragen dürfte also der Verfahreningenieur auf Grund seiner gediegeneren Ausbildung in Strömungslehre und Regelungstechnik über die günstigeren Voraussetzungen für die Lösung verfügen. Den Rest wird er besser dem Chemie-Ingenieur mit seinen besseren Kenntnissen in physikalischer Chemie überlassen.

Dieser Bedarf an Kenntnissen in Chemie und physikalischer Chemie wächst, je weiter wir in Tabelle 2 nach unten gehen. Über ein breites Zwischengebiet, in dem wir unter den derzeitigen Verhältnissen wohl immer auf die Zusammenarbeit des Verfahreningenieurs und des technischen Chemikers (vgl. letzten Abschnitt) angewiesen sind, folgen schließlich Aufgaben, die weitgehend vom Chemie-Ingenieur oder sogar vom Chemiker in Zusammenarbeit mit dem gerade in der Schweiz hervorragend ausgebildeten Technikumsingenieur zu meistern sind. Hier kann es sich z. B. um die Zusammenstellung der für eine bestimmte Synthese geeigneten Apparatur handeln, soweit es sich um übliche Anlagenteile, wie Rührkessel, Rektifizier- oder Extraktionskolonnen, Filter, Kühler usw., handelt. Hier liegt das Schwergewicht der Probleme nicht mehr beim Apparat selbst, sondern bei den in seinem Innern vor sich gehenden Reaktionen.

5. Der Studienplan

Von diesen Überlegungen ausgehend, schien es das Gegebene zu sein, bei der Ausbildung des Verfahreningenieurs auf die Grundlagen des Maschineningenieurwesens aufzubauen. Unbestritten benötigt er eine gründliche Ausbildung vor allem in Mathematik, aber auch in Mechanik und Maschinenelementen⁹. Gleichfalls ist eine gediegene Ausbildung in Strömungslehre (6 Std. Vorlesung + 7 Std. Übungen und Praktika) und Ther-

modynamik (7 Std. Vorlesung + 6 Std. Übungen und Praktika) dringend erforderlich. Die Thermodynamik bringt dabei die technisch wichtigen Kreisprozesse (Wärme-Kraftmaschine, Kältemaschine) und den Wärmeaustausch und eventuell noch etwas Stoffaustausch, überschneidet sich also nicht mit der physikalischen Chemie. Eine Abtrennung nach dem 2. Semester hätte nur in wenigen Fächern eine bessere Anpassung an die speziellen Wünsche des Verfahreningenieurs bringen können, hätte aber den Studenten vor die Wahl zwischen verschiedenen Fachrichtungen gestellt, bevor er sich über den Schwerpunkt seiner Begabung und über die Anforderungen der verschiedenen Fachrichtungen recht im klaren gewesen wäre. Deshalb wird er erst nach Besuch der Grundzügevorlesung «Verfahrenstechnik» im 4. Semester vor diese Entscheidung gestellt.

Mit Beginn des 5. Semesters ist eine Gabelung des Unterrichts in drei Fachrichtungen vorgesehen:

- Maschineningenieurwesen
- Betriebswissenschaften
- Verfahrenstechnik

Diese verschiedenen Fachrichtungen sollen auch durch entsprechende Diplome gekennzeichnet werden, also im Falle der Verfahrenstechnik durch «Dipl. Verfahreningenieur ETH-Z».

Neben einer Ausbildung in mechanischer und thermischer Verfahrenstechnik wird in der Fachausbildung Verfahrenstechnik auch Chemie und physikalische Chemie entsprechend berücksichtigt (vorgesehen sind 4 Stunden organische Chemie, aufbauend auf die Vorlesungen im 1. und 2. Semester, 4 Stunden physikalische Chemie und 2 Stunden Reaktionstechnik jeweils mit einigen Übungen und Praktika).

Neben dieser Fachrichtung bleibt die Möglichkeit einer Ausbildung in den bisherigen Ingenieurhauptgebieten «Apparatebau und Verfahrenstechnik» und «kalorische Apparate und Kältetechnik» allerdings nun unter den Namen «Apparatebau» und «Kältetechnik» bestehen. Es schien nämlich nicht vertretbar, den Apparatekonstrukteur und den an dem Gebiet «Klimatechnik – Kältetechnik – Tieftemperaturtechnik» interessierten Ingenieur mit anspruchsvollen Vorlesungen in Chemie und physikalischer Chemie zu belasten. Auch wenn ein Student diese beiden Ingenieurhauptgebiete besucht, erhält er nicht das Diplom eines Verfahreningenieurs, sondern das eines Maschineningenieurs.

Für Dozenten, die lange Jahre Industriepraxis hinter sich haben, ist der Einbau von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen (vgl. z. B.¹, S. 142, 153, 165, 517, 847) in die Vorlesung eine Selbstverständlichkeit. Auch in den Semesterarbeiten, die von Oberassistenten mit mehrjähriger Industrieerfahrung betreut werden, wird der Nachweis der Wirtschaftlichkeit der geplanten Anlage verlangt. Dieser Einbau in den normalen Unterricht erscheint sinnvoller als eine gesonderte, nur diesen Fragen gewidmete Vorlesung.

⁹ Da die Zahl der Vorlesungen und vor allem der Übungen schon bei der letzten Studienplanreform vor zwei Jahren stark gekürzt, der gesamte Unterricht vollständig modernisiert und den Bedürfnissen des Verfahreningenieurs angepaßt wurde, erübrigte sich die Einführung einer Spezialvorlesung.

In einer ersten Semesterarbeit im 7. Semester wird meist Berechnung und Konstruktion eines einzelnen Apparates oder kleinerer Anlagen verlangt. Die zweite Arbeit, im 8. Semester, erfordert die Berechnung und wirtschaftlichste Auslegung einer ganzen Anlage oder eines Fabrikationsbetriebes. Es wurde und wird hier das verlangt, was man jetzt häufig als «*systems engineering*» bezeichnet. Meist werden Themen gestellt, die in der Vorlesung nicht unmittelbar behandelt wurden. Muß doch der Verfahreningenieur – erzwungen durch die Vielfalt der Probleme, die seiner warten – frühzeitig lernen, an Hand der Literatur sich selbständig in ein zunächst fremdes Gebiet einzuarbeiten und zu einer optimalen Lösung vorzudringen. Hier erlebt er den Reiz der Ingenieur Tätigkeit, wie immer wieder, oft aus zunächst ausweglos erscheinenden Situationen sich doch ein Lösungsweg ergibt und wie schließlich sich alles zu einem einigermaßen ausgewogenen Ganzen fügt. Dies erfordert die stetige Betreuung durch erfahrene Oberassistenten, die nicht nur ihr Wissen, sondern auch ihre Begeisterung für das technische Problem auf den Studenten übertragen. Interesse zu erwecken, ist nämlich oft wichtiger als Wissen zu vermitteln, denn Wissen ist statisch, während Interesse uns dazu antreibt, alles immer wieder zu überdenken, und damit als dynamische Kraft in uns weiterwirkt.

Durch die Semesterarbeiten macht sich der Student auch mit der Abfassung wissenschaftlich-technischer Berichte vertraut.

6. Zusammenarbeit zwischen Ingenieur und Chemiker

Alle großen technischen Aufgaben erfordern die Zusammenarbeit von Menschen mit verschiedenen Kenntnissen und Fähigkeiten. Sie verläuft dann am fruchtbarsten, wenn jeder das von ihm vertretene Fach von Grund

auf beherrscht, jedoch auch über gewisse Kenntnisse vom Fach des Gesprächspartners verfügt. Es ist eine Übertreibung, hier von «Halbwissen» zu sprechen, denn tatsächlich müssen wir meist froh sein, auch nur einen Viertel des Wissens des Experten zu besitzen. Dieser kleine Bruchteil ist für ein produktives Gespräch und vor allem für die gegenseitige Achtung unerlässlich. Das Gespräch wird um so fruchtbarer sein, je mehr jeder vom anderen weiß. Es wäre deshalb kurzsichtig, aus der Angst heraus, «der andre könnte einem zu nahe kommen», dem Gesprächspartner nicht soviel vom eigenen Gebiet mitzuteilen, als dieser wünscht. Diese Zusammenarbeit muß schon an der Hochschule gepflegt werden. Sie kann nur in Gang kommen, wenn auch der Verfahreningenieur über Grundlagen in Chemie und physikalischer Chemie verfügt.

Die spätere Zusammenarbeit im Beruf ist der jeweiligen Aufgabe anzupassen. Beispielsweise kann beim Entwurf einer Verpackungsmaschine das unmittelbare Gespräch zwischen Chemiker und Maschineningenieur das Gegebene sein, in andern Fällen mag die Kombination Chemiker-Chemie-Ingenieur oder Chemiker-Verfahreningenieur zweckmäßiger sein.

Keine fruchtbare Zusammenarbeit ist jedoch möglich, wenn der Verfahreningenieur erst *nach* Festlegung aller wesentlichen Eigenheiten der geplanten Anlagen beigezogen wird, um nur noch nach Anweisung des Chemikers dafür zu sorgen, daß noch alle technischen Probleme, wie Dichtigkeit von Durchführung beweglicher Wellen, Werkstofffragen, Energieverbrauch usw., in Ordnung kommen. Es ist verständlich, daß dem reinen Forschungschemiker diese Fragen nebensächlich erscheinen. Sie sind aber oft entscheidend für die wirtschaftliche Bewährung eines Verfahrens. Der Verfahreningenieur ist also von allem Anfang an bei der Gestaltung des geplanten Prozesses als gleichberechtigter Gesprächspartner beizuziehen.