

# Ausbildung der Maschineningenieure in "Verfahrenstechnik"

Autor(en): **Grassmann, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **81 (1963)**

Heft 21: **Schulratspräsident Hans Pallmann zum 60. Geburtstag am 21. Mai 1963**

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-66792>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

ETH zu verlassen, um ins Ausland zu gehen oder im Inland in eine industrielle Forschungstätigkeit überzutreten. Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses verlangt neben der finanziellen und sozialen Besserstellung der in Frage kommenden jungen Lehrer und Forscher unbedingt auch die Berücksichtigung der mehr inkomensurablen Werte.

In diesem kurzen Abriss über die Tätigkeit unseres Institutes müssen auch die wissenschaftlichen und persönlichen Kontakte mit ähnlichen Instituten und Hochschulen im Inland und Ausland erwähnt werden, die zur gegenseitigen Be-

fruchtung erwünscht, ja notwendig sind, und die mit der Ausweitung in Breite und Tiefe jeden Gebietes je länger desto unerlässlicher werden. Eng verbunden damit ist die Beschaffung der Dokumentation, ihre Einordnung in die Institutsbibliothek und das Studium der Fachliteratur.

Wir sind dabei bemüht, die allgemeinen Problemstellungen und Arbeitsmethoden zu untersuchen und sie fördernd anzuwenden auf die uns am nächsten liegenden Fragen von wissenschaftlichem und volkswirtschaftlichem Interesse unseres eigenen Landes.

## Ausbildung der Maschineningenieure in «Verfahrenstechnik»

DK 378.962:66.02

Von Prof. Dr. Peter Grassmann, Vorsteher des Institutes für kalorische Apparate und Kältetechnik

### Was ist «Verfahrenstechnik»?

Das nur historisch verständliche Wort «Verfahrenstechnik» entspricht heute kaum mehr dem Inhalt dieses Faches. Schon der Wortteil «Verfahren» ist wenig kennzeichnend, denn viele unserer technischen Bemühungen zielen auf die Entwicklung eines Verfahrens. Aber auch der zweite Wortteil weist nur auf eine Seite des Gebietes hin und lässt nicht ahnen, dass hier neue wissenschaftliche Fragen gestellt, neue Grundlagen erarbeitet werden müssen. Trotzdem sei dieser Name hier beibehalten, da er sich inzwischen weitgehend eingebürgert hat. Heute wird Verfahrenstechnik — wenn auch oft unter anderem Namen — an allen dem Verfasser bekannten technischen Hochschulen gelehrt. An den englisch-amerikanischen Hochschulen bestehen meist sogar besondere Abteilungen für «chemical engineering», ein Ausbildungsgang, der etwa zwischen dem des Verfahreningenieurs und dem des chemischen Technologen liegt.

Dieser neue Bildungsweg wurde zunächst von der chemischen und der Verbrauchsgüterindustrie gefordert, als die durch Vergrößerung und Rationalisierung der Anlagen gestellten Aufgaben aus dem Gebiet der Chemie mehr und mehr herauswuchsen. Ein neuer Ingenieurtyp war für Planung, Berechnung und Konstruktion dieser Apparate erforderlich. Während sich nämlich der Maschineningenieur üblicher Prägung für die umlaufende Maschine interessiert, laufen durch den äusserlich ruhenden Apparat die reagierenden Stoffe hindurch. Damit verwirklicht zwar die oft als stationärer Fliessprozess betriebene chemische Synthese in idealer Form das bei der mechanischen Massenfertigung immer wieder erstrebte Fliessband; dennoch bedeutet für den Ingenieur der Uebergang von der Maschine zum Apparat eine einschneidende Umstellung, handelt es sich doch nicht mehr um die Aenderung der äusseren Form irgend eines Werkstückes, sondern der inneren Struktur eines Stoffes.

Bald zeigte sich, dass ähnliche Aufgaben auch gestellt werden in der Klima- und Trockentechnik, in der Kälte- und Tieftemperaturtechnik, in den Industrien der Steine und

Erden, in der Hüttentechnik, bei der Abwasseraufbereitung und bei der grossen Zahl der Trennprozesse, angefangen von den mechanischen Verfahren wie Sieben, Sichten, Filtrieren und Sedimentieren über die Trennung von Lösungen — darunter das heute im Vordergrund stehende Problem der «sea water conversion», d. h. der Gewinnung von Gebrauchswasser aus Meerwasser, beim Fraktionieren und Aufarbeiten organischer Gemische (z. B. Erdöl) bis zu den erst in letzter Zeit entwickelten industriellen Verfahren der Isotopentrennung.

So sieht sich der Verfahreningenieur unüberschaubar vielfältigen Aufgaben gegenübergestellt. Einen ersten Schritt zur Vereinfachung hat 1893 G. Lunge in Zürich getan [1], der darauf hinwies, dass sich diese Vielfalt auf einige wenige Grundverfahren zurückführen lasse [2]. Fruchtbar wurde dieser Gedanke vor allem, als ihn A. D. Little 1915 wieder aufgriff und die Lehre der «unit operations» schuf. In der Folgezeit bildete er die Grundlage nahezu aller Darstellungen dieses Gebietes.

Inzwischen ist aber die Verfahrenstechnik in ungeahnter Weise angewachsen, erscheinen doch heute täglich rund 20 wissenschaftliche Originalarbeiten, die sich mit irgendeinem ihrer vielfältigen Probleme befassen. Aus den wenigen Grundverfahren Lunges sind heute mehr als 50 geworden. So schien der Verlust der Uebersicht fast unvermeidlich.

Jedoch wieder gelang es, aus dieser Not eine Tugend zu machen! Denn die grosse Zahl der jetzt bekannten Grundverfahren, aber auch alle zukünftig noch zu erfindenden sind letzten Endes aus einer Verknüpfung bekannter Naturgesetze hervorgegangen. Es galt also, dieses alles durchdringende Netz der Naturgesetze blosszulegen, das nur aus wenigen aber kunstvoll verknüpften Fäden gewoben ist [3]. Und wieder stiess man auf Beziehungen, die nicht nur das, was man verbinden wollte, verbanden, sondern die darüber hinaus viele bisher unverstandene Vorgänge im anorganischen und organischen Geschehen dem Verständnis erschlossen. So spielen sich etwa bei der Sedimentbildung durch Ströme in geologischen Zeiträumen dieselben Vorgänge ab wie in den Stromklassierern, die fraktionierte Kristallisation führt in der Natur ebenso zu reinsten Kristallen wie im technischen Apparat, und jüngst konnte Kuhn [4] nachweisen, dass in dem lange unverstandenen Organ der Fische, dem rete mirabile, genau jener Gegenstrom verwirklicht ist, der auch in technischen Gegenstromverfahren eine Erhöhung der Partialdrücke bzw. der Konzentrationen um viele Zehnerpotenzen gestattet.

Diese wenigen Beispiele mögen genügen, um einen grundlegenden Unterschied zwischen Maschinenbau und Apparate-

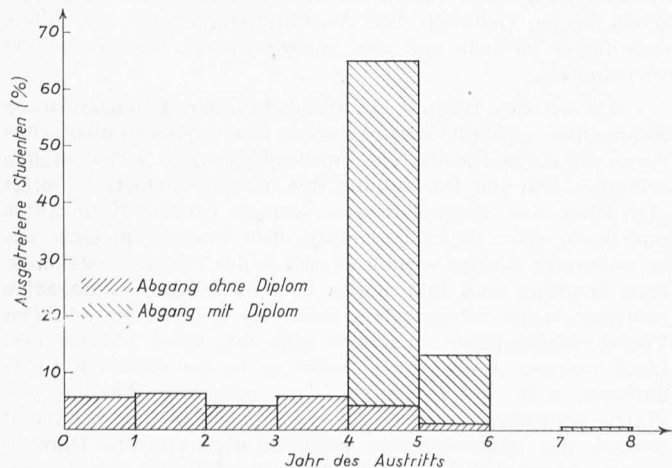
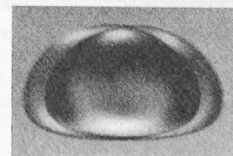


Bild 1. Verweilzeitspektrum der Studenten an Abteilung IIIA der ETH

Bild 2. Aufnahme eines frei fallenden 0,117 g schweren Tropfens mit einer stationären Endgeschwindigkeit von 9,16 m/s. Um den Abstand des Tropfens von der Aufnahmeoptik und damit seine Grösse zu bestimmen, wurde er nach einem Vorschlag von K. Pfister durch eine Stereo-(Doppel-)Blende aufgenommen, so dass eine Doppelkontur entsteht. (Aus der Diss. von A. Reinhart)



bau zu zeigen: Weder die organische noch die anorganische Natur kennt irgendwelche typischen Elemente des Maschinenbaues, wie Rad, Zahnrad, Kurbelwelle und nur ganz gelegentlich die Schraube. Ueberall aber stossen wir auf die Elemente des Apparatebaues: Tiere und Pflanzen sind mit «Rohrleitungen» durchzogen, um Nahrung und Sauerstoff zu den Zellen zu bringen und Abbaustoffe zu entfernen. Der Verdauungskanal entspricht weitgehend einem Reaktionsrohr und die Drüsen Extraktionsanlagen, wobei in beiden meist die verstärkende Wirkung des Gegenstroms angewandt wird. So überrascht es nicht, dass auch der tierische Organismus jenen Gesetzen folgen muss, die der Apparatebauer beachtet, wenn er die Anlage vergrössert: Bei geometrisch ähnlicher Vergrösserung nimmt die Fläche nur mit dem Quadrat, das Volumen und damit bei gleichem Baustoff auch die Masse mit der dritten Potenz des Vergrösserungsstabes zu. Damit nimmt die spezifische Oberfläche, das ist die Oberfläche pro Masseneinheit ab! Sowohl der Apparat wie der Organismus muss Wärme und Stoff mit der Umgebung austauschen, wobei die ausgetauschten Mengen unter sonst gleichen Verhältnissen seinem Volumen proportional sind. Da die äussere Oberfläche für diesen Austausch nicht mehr ausreicht, müssen mehr und mehr innere Oberflächen vorgesehen werden (Lungenoberfläche des Menschen  $\sim 120 \text{ m}^2$ !) und durch erzwungene Konvektion, d. h. Atmung, muss für einen intensiven Austausch gesorgt werden.

### Der Weg zu den Grundlagen der chemischen Technik (= Chemical Engineering Science)

Damit wurde es klar, dass hier Grundlagen zu erarbeiten waren, die weit über ein spezielles Anwendungsgebiet hinausreichen. Sie waren nicht immer leicht zu beschaffen! So hat zur Entwicklung der für die Herstellung der Atombomben erforderlichen Trennanlagen der englische Nobelpreisträger *P. A. Dirac* durch seine universelle Theorie der «value functions» einen wertvollen Beitrag geleistet. Dass man sich an diesen durch seine sehr abstrakten quantentheoretischen Arbeiten bekannten Physiker gewandt hat und dass er an diesen Problemen Geschmack fand, zeigt, dass es sich hier nicht um ganz einfache Dinge handelt.

Man wird aber fragen: liefern nicht Mathematik, Physik und Chemie eine lückenlose Grundlage, wo bleibt da noch Platz für die hier geforderten Grundlagen? Dies ist nicht der Fall, wie an zwei Beispielen für viele gezeigt sei:

Für viele chemische Reaktionen ist es wichtig, dass die Reaktanden weder zu kurz noch zu lang den jeweiligen Bedingungen (z. B. erhöhter Temperatur, erhöhtem Druck, U. V.-Bestrahlung usw.) ausgesetzt werden, wie ja auch eine Speise dann am besten mundet, wenn sie weder zu kurz noch zu lange gekocht wurde. Es genügt aber nicht, wenn die «mittlere Verweilzeit»

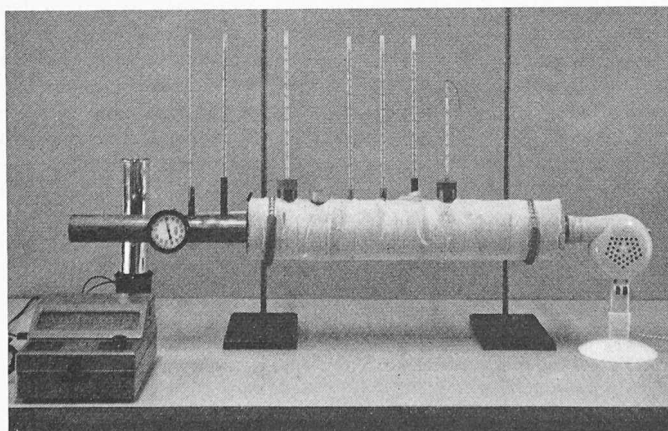


Bild 3. Apparat zur Demonstration der bei der Temperaturmessung eines Gasstroms möglichen Fehler. Die teilweise absichtlich schlecht eingebauten Thermometer zeigen Temperaturen an, die bis  $20^\circ \text{C}$  unter der wahren Gastemperatur (etwa  $90^\circ \text{C}$ ) liegen. Der Student hat die Aufgabe, die Fehler aufzuspüren und die Fehlmessung quantitativ zu erklären. Auch sind Verbesserungsvorschläge anzugeben

$$\Delta t_m = m_B/m^*$$

richtig gewählt wird. (Dabei ist  $m_B$  der Behälterinhalt,  $m^*$  die pro Zeiteinheit zufließende bzw. abfließende Menge. Beispiel: Mittlere Verweilzeit der Studenten an der ETH = Zahl der Studenten an der ETH / jährlichen Zugang  $\approx 4000/1000 = 4$  Jahre.) Es muss nämlich zudem jedes einzelne Teilchen bzw. jeder Student die richtige Zeit der betreffenden Einwirkung — z. B. dem Informationsstrom der Professoren — ausgesetzt sein. Wie weit dies erreicht wird, kommt durch das Verweilzeitspektrum zum Ausdruck<sup>1)</sup>. Ein Beispiel zeigt Bild 1. In ihm ist über der Verweilzeit an Abteilung III A der ETH als Abszisse jeweils die Zahl der Studenten aufgetragen, die die betreffende Zeit über eingeschrieben waren. Man erkennt daraus, dass nur knapp 6% der Studenten schon im ersten Jahr die Abt. III A wieder verlässt, während der überwiegende Teil, nämlich 61% im fünften Jahr, also nach der im Studienplan vorgeschriebenen Zeit, das Diplomzeugnis erhält.

Aus der Berechnung und experimentellen Ermittlung derartiger Verweilzeitspektren folgt z. B., dass der einfache Rührkessel, dem einerseits dauernd Material zufließt und dem andererseits dauernd die gleiche Materialmenge entnommen wird, ein sehr ungünstiges Verweilzeitspektrum besitzt, nämlich von der Form  $\exp(-\Delta t/\Delta t_m)$ . Günstiger in dieser Hinsicht sind Rührkesselkaskaden, d. h. mehrere hintereinander geschaltete Rührkessel. Vergleichsweise günstig ist auch das turbulent durchströmte Rohr, da bei ihm die überwiegende Flüssigkeitsmenge etwa die mittlere Geschwindigkeit besitzt. Noch günstiger ist aber in dieser Hinsicht das Förderband, da bei ihm *alle* Teilchen dieselbe Geschwindigkeit aufweisen.

Die Theorie dieser Verweilzeitspektren und ihr Zusammenhang mit den für die Regeltechnik wichtigen «Übergangsfunktionen» ist mathematisch reizvoll, wenn auch nicht ganz einfach.

Auch sie findet über den Apparatebau hinausgehend viele Anwendungen: Das Verweilzeitspektrum der Düngemittel im Boden ist für die Agrikulturchemie von Bedeutung, aus dem Verweilzeitspektrum des Blutes im Körper können gewisse Herzkrankheiten diagnostiziert werden, die Verweilzeit des Alkohols im Blut ist wichtig für den Autofahrer und das Verweilzeitspektrum von Heilmitteln — in diesem Fall als «Ausscheidungskurve» bezeichnet — wichtig für den Pharmakologen. In manchen dieser Fälle muss noch die chemische Umwandlung der beteiligten Stoffe beachtet werden, so z. B. ob die betreffenden Reaktionen von 1., 2. oder höherer Ordnung sind.

Warum wurden diese Fragen nicht schon im Rahmen einer der grundlegenden Wissenschaften, z. B. in der Strömungslehre, geklärt? Die Antwort ist: Für die Strömungslehre sind die Flüssigkeitsteilchen miteinander beliebig vertauschbar. Damit wird die Frage nach dem Verweilzeitspektrum gegenstandslos. Dem Reaktionskinetiker dagegen ist die Strömungslehre fremd. So blieb der Brückenschlag zwischen beiden Gebieten dem Verfahreningenieur, vor allem dem leider zu früh von uns gegangenen *G. Damköhler* [5] vorbehalten.

Als zweites Beispiel sei die Lehre der dimensionslosen Kennzahlen gewählt. Sicher werden solche Kennzahlen, allen voran die Reynoldszahl, viel verwendet und an vielen Stellen erläutert. Für die Darstellung der meisten Gebiete benötigt man aber nur vergleichsweise wenige solcher Kennzahlen und damit wäre es auch unnötig, ihre Theorie im einzelnen zu erläutern. Anders verhält es sich in der Verfahrenstechnik. Hier benötigt man mindestens 30 verschiedene Kennzahlen (vorgeschlagen wurde schon zwei- bis dreimal mehr!). Der Verfahreningenieur muss sich also mit ihrer Theorie vertraut machen. Leider aber findet er in den üblichen Lehrbüchern, z. B. der Strömungslehre oder des Wärme- und Stoffaustausches, in denen diese Fragen nebenher behandelt werden, nur unvollständige, teilweise sogar falsche Darstellungen. So wird z. B. oft behauptet, die Zahl der für ein vor-

<sup>1)</sup> Näheres hiezu vgl. [3] § 7.23.



gegebenes Problem erforderlichen dimensionslosen Kennzahlen sei gleich der Zahl der auftretenden dimensionsbehafteten Grössen minus der Zahl der Grundgrössen, durch die sich diese darstellen lassen. (Richtig müsste es heissen: Zahl der Kennzahlen = Zahl der dimensionsbehafteten Grössen minus Rang der Dimensionsmatrix!) Ferner wird häufig nur die Ableitung der Kennzahlen aus der für den Vorgang massgebenden Differentialgleichung behandelt. Sicher ist dies ein mögliches Verfahren, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

1. Der Vorgang muss sich durch eine Differentialgleichung darstellen lassen. Dies trifft nicht mehr zu, wenn die Darstellung durch die Methoden der Kontinuumsphysik eine auch für den technischen Bedarf zu schlechte Näherung ergeben würde, z. B. weil die freie Weglänge der Gasmoleküle vergleichbar mit den Körperdimensionen wird.

2. Die betreffende Differentialgleichung muss bekannt sein. Es wäre ein unnötiger Zeitaufwand, wollte man sie erst ableiten, nur um dann aus ihr die Kennzahlen zu gewinnen. Man vergegenwärtige sich dazu z. B., zu welchem «Gleichungsungetüm» es führen würde, wollte man die der Navier-Stokes-Gleichung entsprechende Gleichung aufstellen für den Fall, dass in jedem «Raumpunkt» nicht eine, sondern drei verschiedene Geschwindigkeiten herrschen. Dies ist aber bei der Elektrolyse der Fall, denn positive und negative Ionen und das Wasser besitzen unterschiedliche Geschwindigkeiten!

3. Es müssen auch alle Gleichungen in Betracht gezogen werden, die bei der Integration benützt werden.

Aus den angeführten Gründen ist diese Methode oft nicht brauchbar. Der Verfahreningenieur muss deshalb auch andere beherrschen. Auch muss er wissen, dass die Auffindung eines dimensionslosen Ausdruckes noch längst keine grosse Entdeckung darstellt, lassen sich doch beliebig viele derartige Ausdrücke angeben. Es ist also notwendig, ausgehend vom « $\pi$ -Theorem» die Grundlagen dieses Gebietes zu vermitteln (vgl. [3] Kap. 8).

Die Lehre der dimensionslosen Kennzahlen leitet über zur Modelltechnik und zu den Analogieverfahren. Um diese anzuwenden, muss man sich z. B. darüber im klaren sein, inwiefern die Strömung einer Flüssigkeit, von Wärme, von Entropie und von Elektrizität einander ähnlich sind und wo grundlegende Unterschiede bestehen.

### Experimentelle Grundlagenforschung

Während noch vor 30 Jahren die experimentelle Forschung fast ausschliesslich auf die Vervollkommnung und sichere Vorausberechnung von Apparaten ausgerichtet war, rückt heute die Grundlagenforschung mehr und mehr in den Vordergrund. Man untersucht also irgendeinen Vorgang um seiner selbst willen und nicht mehr in Hinblick auf seine technische Anwendung. So sind z. B. die beiden Zeitschriften «Chemical Engineering Science» und «Chemical Engineering Progress» vornehmlich dieser Grundlagenforschung gewidmet. Besonders eingehend wurde in den letzten Jahren über «zweiphasige Strömungsvorgänge», d. h. über die Wechselwirkung einer festen oder flüssigen Phase mit einer Gasphase gearbeitet (vgl. z. B. [3], Kap. 10), lagen doch bisher darüber noch kaum systematische Untersuchungen vor. Das Verhalten freier Flüssigkeitsoberflächen, von Tropfen (Bild 2), Blasen und Wirbelschichten bildet aber die Grundlage vieler Prozesse der Verfahrenstechnik.

### Verhältnis zu den Nachbargebieten

Das Verhältnis zwischen chemischer Technologie und Verfahrenstechnik ist ähnlich dem zwischen Chemie und physikalischer Chemie. Während nämlich in der Chemie die Eigenarten bestimmter Verbindungen und ihre Reaktionsweise im Vordergrund stehen, fragt die physikalische Chemie nach dem Gemeinsamen, z. B. nach den Eigenschaften «der Lösungen» oder nach den allgemeinen Gesetzen der Reaktionskinetik. In ganz analoger Weise behandelt die Technologie die Herstellung bestimmter Stoffe oder Stoffklassen, während sich der Verfahreningenieur für die allgemeinen

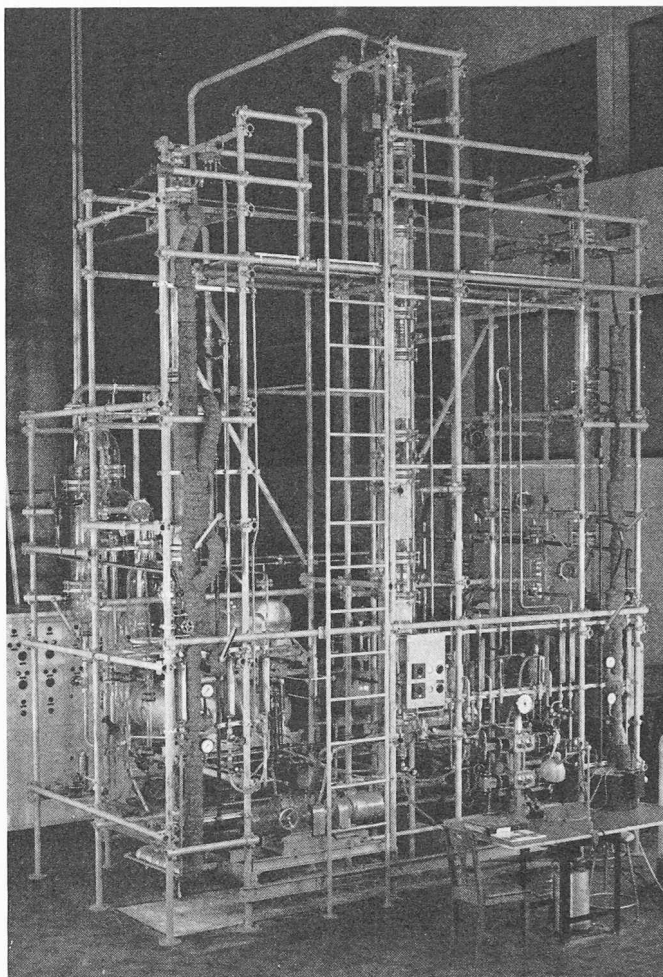
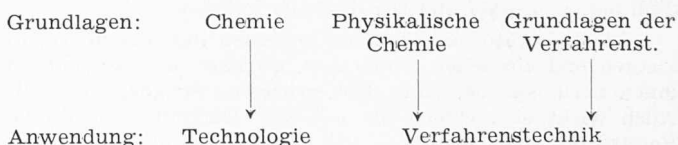


Bild 4. Grosse Extraktionsanlage (Geschenk der Emil-Barell-Stiftung), aufgestellt im grossen Maschinensaal des Maschinenlaboratoriums der ETH. Die aus drei Schüssen bestehende eigentliche Extraktionskolonne (Mitte) ist flankiert durch die beiden Verdampfer-Kondensatorgruppen rechts und links

Grundlagen der Verfahren interessiert. Damit ergibt sich das folgende Schema:



### Die Ausbildung an der Abteilung Maschinenbau

Bekanntlich haben die Studenten des Maschinenbaues (Abt. IIIA der ETH) beginnend mit dem 5. Semester die Möglichkeit, zwischen jeweils 3 bis 5 «vertieften Ausbildungen» zu wählen. Jede von ihnen baut auf eine zweistündige obligatorische «Grundzügevorlesung» im 4. bzw. 5. bzw. 6. Semester auf. Sie soll einerseits dem Studenten die Wahl zwischen den verschiedenen vertieften Ausbildungen erleichtern, andererseits ihm in jedem Fach gewisse Grundlagen vermitteln. Im 5. Semester hat er dann erstmals die Wahl zwischen «Regelungstechnik», «Hydraulische Maschinen» sowie «Textilmaschinenbau und Textilindustrie». Jede dieser vertieften Ausbildungen besteht aus einer vierstündigen Vorlesung verbunden mit Laboratoriumsübungen, an die sich im 6. Semester eine zweistündige Vorlesung und Konstruktionsübungen anschliessen. Entsprechend wird der Student dann im 6. Semester vor die Wahl gestellt, sich entweder in «Verfahrenstechnik», «Verbrennungsmotorenbau», «Aerodynamik» oder «Fertigungstechnik» zu vertiefen. Schliesslich stehen im 7. Semester «Kalorische Apparate und Kältetechnik», «Nukleartechnik», «Thermische Turbomaschinen», «Flug-

zeug- und Leichtbau» oder «Fabrikorganisation und Betrieb» zur Auswahl.

Man erkennt, dass die Kombination Regelungstechnik → Verfahrenstechnik → Kalorische Apparate und Kältetechnik dem Verfahreningenieur einen guten Grundstock an Wissen und Können vermittelt, denn während in den Vorlesungen über «Verfahrenstechnik» die Verfahren auf mechanischer Grundlage im Vordergrund stehen, bilden die thermischen Verfahren wie Eindampfen, Destillieren, Rektifizieren, Extrahieren bis zu den modernen Isotopentrennverfahren, ferner Trockentechnik, Klima-, Kälte- und Tieftemperaturtechnik den Grundstock der Ausbildung in «Kalorischen Apparaten und Kältetechnik». Der Freiheit der Wahl entsprechend ist aber z. B. auch die Kombination Hydraulische Maschinen → Verfahrenstechnik → Regelungstechnik oder auch Regelungstechnik → Verfahrenstechnik → Fertigungstechnik möglich.

Während die vertiefte Ausbildung in «kalorischen Apparaten und Kältetechnik» schon im Herbst 1950 anlieft, wurde mit der vertieften Ausbildung in «Verfahrenstechnik» erst im Wintersemester 1961/62 begonnen. Die Grundzügevorlesung ist Fragen gewidmet, die ganz allgemein von Interesse sein dürften, aber doch einen Einblick in die für die Verfahrenstechnik typischen Gedankengänge gewähren. Es sind dies unter anderem die Anwendung der Bilanzgleichungen, Verweilzeitspektren, allgemeine Theorie der Ähnlichkeit und der Modelle, neue Wege von Brennstoff zur elektrischen oder mechanischen Energie (Brennstoffelement, Magneto-hydrodynamik, thermionische Generatoren, Thermo-elemente) und Vakuumtechnik. Bei den gelegentlich an Stelle der Vorlesung durchgeführten Rechenübungen ist es immer wieder erstaunlich, wie grosse Mühe diese recht neuartigen Ueberlegungen vielen Studenten bereiten. Dabei handelt es sich oft um Aufgaben, zu deren Lösung nur die vier Grundrechnungsarten benötigt werden. Um aber auch den schwächeren Studenten entgegenzukommen, werden daneben auch Aufgaben gestellt, die überlegungsmässig einfacher sind und z. B. auf leicht zu integrierende Differentialgleichungen führen.

In der folgenden vertieften Ausbildung behandelt je eine zweistündige Vorlesung «Verfahren auf mechanischer Grundlage» (Zerkleinern, Sedimentieren, Filtrieren, Zentrifugieren, Brikettieren usw.), «konstruktive Elemente des Apparatebaues» (Rohrleitungen, Armaturen, Pumpen, Wärmeaustauscher usw.) und «technische Chemie für Verfahreningenieure» (typische chemische Reaktionen und Verbindungsklassen). Die beiden letztgenannten Vorlesungen werden vom dipl. Ing. W. Stahel und Dr. A. Guyer gelesen.

Die Laboratoriumsübungen beginnen mit Versuchen an kleinen und einfachen Apparaten. So kann der Student an ihnen herumspielen, ohne dass grösserer Schaden entsteht. Auch wirkt sich irgend ein äusserer Eingriff — z. B. die Verstellung eines Ventils — viel rascher aus als bei grossen Apparaten, die häufig nur träge reagieren. Deshalb lässt sich in einem Nachmittag ein vergleichsweise grosses Versuchsprogramm bewältigen. So lernt der Student gleichsam

spielend einige der später immer wiederkehrenden Messverfahren (Konzentration, Viskosimetrie und Rheologie, Korngrössenverteilungen usw.) kennen, erhält ein Gefühl für zu erwartende Fehler (Bild 3) und hat die Möglichkeit, gewisse Grundverfahren zu studieren (Sedimentation, Wirbelschicht, Hochvakuum, Adsorption, Destillation usw.). Fortschreitend vom Einfachen zum Komplizierten lassen sich dann schliesslich auch Übungen an Apparaten technischer Abmessungen durchführen (Bild 4).

Der Aufbau dieses Praktikums wurde ermöglicht, da einerseits vom Präsidenten des Schweizerischen Schulrates einige Räume im ehemaligen EMPA-Gebäude, Tannenstrasse 1, andererseits von der Emil Borell-Stiftung 134 000 Fr. in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt wurden.

In den vom dipl. Ing. J. Zbojnowicz betreuten Konstruktionsübungen wird die Berechnung sehr verschiedenartiger Apparate als Aufgabe gestellt. Von einigen Teilen müssen dabei werkstattgerechte Zeichnungen angefertigt werden. Oft muss sich dabei der Student mit Apparaten befassen, über deren Funktion er nur wenig in den Vorlesungen gehört hat. Er hat sich dann viele Unterlagen erst durch Literaturstudium und selbständiges Ueberlegen zu beschaffen. An Stelle einer der Konstruktionsübungen kann auch — soweit es die beschränkten Verhältnisse des Laboratoriums erlauben — eine experimentelle Arbeit durchgeführt werden.

Da die Verfahrenstechnik ein junges und sich rasch entfaltendes Wissensgebiet ist, äussern auch die in der Praxis stehenden Ingenieure immer wieder den Wunsch, über ihre Fortschritte unterrichtet zu werden. Dies bekundet sich einerseits in dem regen Besuch des durch Prof. Dr. H. Ziegler ins Leben gerufenen Kolloquiums für Mechanik und Thermodynamik, in dem etwa zu 50 bis 60 % verfahrenstechnische Themen behandelt werden, andererseits durch den regen Besuch der Fortbildungskurse. So haben den Kurs über «Wärme- und Stoffaustausch» im Herbst 1962 141 Fachleute besucht, während sich für den vom BIA in Basel veranstalteten Kurs über «Thermische Grundverfahren» sogar 165 Teilnehmer eingeschrieben haben.

#### Literaturhinweise

- [1] Zitiert nach G. G. Brown und Mitarbeiter; Unit Operations, J. Wiley and Chapman and Hall, New York/London 1950, S. 1.
- [2] Fischer-Lexikon, Technik II (Maschinenbau) Abschnitt «Verfahrenstechnik», Fischer-Bücherei KG, Frankfurt/Main 1962.
- [3] P. Grassmann: Physikalische Grundlagen der Chemie-Ingenieur-Technik, Verlag Sauerländer, Aarau und Frankfurt/M. 1961 (englische Ausgabe in Vorbereitung).
- [4] W. Kuhn und H. J. Kuhn: «Zs. f. Elektrochemie». Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie 65 (1961) Nr. 5, S. 426/39. Uebersichtsreferat, erscheint demnächst in «Die Naturwissenschaften».
- [5] G. Damköhler: Einfluss von Diffusionen, Strömung und Wärmetransport auf die Ausbeute bei chemisch-technischen Reaktionen. Nachdruck aus «Der Chemie-Ingenieur», herausgegeben von A. Eucken und M. Jakob, Leipzig 1937, veranlasst von der VDI-Fachgruppe Verfahrenstechnik, Leverkusen 1957.

## Regelungstechnik – Neues Vertiefungsfach der Maschineningenieur-Ausbildung

Von Dr. Paul Profos, Professor für Regelung und Dampfanlagen an der ETH, Zürich

DK 378.962:621-53

### 1. Allgemeine Bedeutung der Regelungstechnik

Die Technik des Maschinenbaues hat es sich bis vor kurzem hauptsächlich zum Ziel gemacht, menschliche Arbeitsleistung durch Maschinen übernehmen zu lassen und zugleich zu steigern. Diese Zielsetzung kann an sich auch heute noch als gültig betrachtet werden. Aus ihr erwächst als technische Aufgabenstellung die Schaffung von Einrichtungen zur Beherrschung grosser Kräfte, Massen und Energien. Besonders sinnfällig äussert sich dies etwa in der Energietechnik, der Verfahrenstechnik oder der Fertigungstechnik.

Solche Anlagen bedürfen bekanntlich der dauernden Ueberwachung und Führung, aus technischen wie aus

ökonomischen Gründen. Als neue Zielsetzung tritt nun die Entlastung des Menschen auch von dieser, wohl weitgehend nicht mehr körperlichen, aber ihrer Einförmigkeit halber inhaltsarmen Kontrolltätigkeit, d. h. die Automatisierung. Teils aus diesem Bestreben heraus, teils auch noch aus anderen Gründen ist damit neben der herkömmlichen Maschinentechnik eine andere technische Disziplin entstanden. Obwohl sie ihren Anfang bereits mit dem Drehzahlregler der Wattischen Dampfmaschine nahm, ist doch erst in jüngster Zeit erkannt worden, dass dieser Bereich der Technik seinem Wesen wie seiner Aufgabenstellung nach völlig anders geartet ist: An die Stelle der Umformung und Weiterleitung von Massen oder Energien tritt hier die *Verarbeitung und*