

DIE CHEMISCHE TECHNOLOGIE ALS WISSENSCHAFT UND UNTERRICHTSFACH

Von

Z. ADONYI und I. SZEBEÉNYI

Lehrstuhl für Chemische Technologie, Technische Universität Budapest

Eingegangen am 29. Sept. 1978

Seit etwa 130 Jahren wird an der Technischen Universität Budapest Chemische Technologie gelehrt. 1870 wurde zur Lehre dieses Faches ein spezieller Lehrstuhl, der Lehrstuhl für Chemische Technologie geschaffen. Während dieser langen Zeit, hauptsächlich aber nach dem zweiten Weltkrieg gingen im wesentlichen die gleichen Veränderungen im System der ungarischen Chemieingenieur-Ausbildung vor sich [1, 2], die HOUGEN [3] in der amerikanischen Entwicklung festgestellt hat und auf die auch von POLINSZKY [4] hingewiesen wurde. Der wissenschaftlichen Entwicklung entsprechend sind eine ganze Reihe neuer Lehrfächer entstanden, während die technische Chemie die Kennzeichnung »beschreibendes Fach« erhielt und in den Hintergrund gedrängt wurde. Das Attribut »beschreibend« stellt unausgesprochen die wissenschaftliche Natur und die Existenzberechtigung der chemischen Technologie als Unterrichtsfach in Frage. In nicht so krassem Sinne kennzeichnet es die chemische Technologie als Anwender der verschiedenen Grund- und Fachwissenschaften.

Dieser Prozeß nötigte zur Selbstprüfung, ob die chemische Technologie eine Wissenschaft ist, ob die Notwendigkeit besteht, sie zu lehren, und wenn ja, mit welchem Gehalt sie zu erfüllen ist und welche Funktionen sie erfüllen muß.

Prinzipielle Fragen der chemischen Technologie als Wissenschaft

Wenn die in der Einleitung aufgeworfenen Fragen untersucht werden, so bietet sich den Technologen als natürliche Grundlage dieser Untersuchung die allgemeine Meinung an, daß in der Lehre der chemischen Technologie die Beschreibung nur den konkreten Stoff liefert und das Gewicht auf der Darlegung der »technologischen Anschauungsweise«, der »technologischen Denkweise« liegt, auf jenen Bemerkungen, Beispielen und Fällen, die in der Verbindung mit dem gegebenen Stoff alle zu verallgemeinernden Erfahrungen beinhalten. Diese Bemerkungen finden gewöhnlich in Hochschullehrheften keinen Platz, zur Aufnahme in Büchern sind sie dagegen auch »nicht bestimmt«, weil sie »nur« didaktischen Zielen, der »Ausschmückung« der Vorlesung dienen,

obwohl die in Vorlesungen behandelten Technologien nicht selten unter dem Gesichtspunkt der Darlegung dieser Bemerkungen ausgewählt werden, ohne daß dabei die Bedeutung konkreter technologischer Kenntnisse unterschätzt würde. (Aufgabe der allgemeinen chemischen Technologie als Lehrfach ist selbstverständlich nicht nur die Vermittlung der Ingenieuranschauungsweise, sondern auch die Ausrüstung der Hörer mit den für die Tätigkeit eines Chemieingenieurs notwendigen konkreten chemisch-technologischen Kenntnissen.)

Damit, daß man in der chemisch-technologischen Lehre die »Ingenieurdenkweise« hervorhebt, wird eine mit Recht erwartete, natürliche Forderung erfüllt, aber im Hinblick darauf, daß bei der Ausbildung der »Ingenieuranschauungsweise« auch diesich anschließenden Lehrfächer, wie z. B. die chemische Verfahrenslehre, notwendigerweise gleichberechtigte Fächer sind, läßt sich auf diesem Wege keine Antwort auf die Grundfragen erhalten; die Antwort muß auf anderem Wege gesucht werden.

Es wäre einfach die chemische Technologie als Studium zu charakterisieren, wenn sie der Definition der »Wissenschaft« angepaßt werden könnte. Nach Sachverständigen auf diesem Gebiete, z. B. EINSTEIN und BERNAL, gibt es jedoch keine auf diese Weise verwendbare Definition [5]. Nach BLACK ist das Ideal der Definition streng genommen nicht auf die menschliche Tätigkeit, die ein unteilbarer Bestandteil des einmaligen und nicht wiederholbaren Prozesses der gesellschaftlichen Entwicklung ist, anwendbar [5]. Von diesem Gesichtspunkt aus sind Wissenschaft und Technologie Begriffe gleichen Charakters und somit ist auch keine befriedigende Definition der »chemischen Technologie« zu erwarten. Auf die sich auf das wissenschaftliche Wesen der Technologie beziehende Frage ist also auch von dieser Seite her keine eindeutige Antwort zu erhalten. Es scheint, daß die Untersuchung der Bezeichnung »beschreibend« als Begriff nicht zu umgehen ist.

Die »beschreibende« pöjorative Charakterisierung bedeutet im wesentlichen oder zielt doch zumindest darauf hin, daß die chemische Technologie als Lehrfach gegenwärtig nicht oder nur in stark eingeschränktem Maße die Mathematik anwendet. Die Anwendung der Mathematik wird heute oftmals als Kriterium der Wissenschaftlichkeit angesehen.

Der Mathematik kommt in der chemischen Technologie eine beschreibende Funktion zu, und es kann festgestellt werden, daß sie dieser Rolle nicht ausschließlich nachkommt. Bei der Beschreibung wird — auf anscheinend unumgängliche Weise — die Sprache der »Zeichnung« verwendet, ja sogar immer verbreiteter auch die »Makettsprache«. (Was die letztere betrifft, so ist es offensichtlich, daß bei moderner Planung durch Aufbau des dreidimensionalen, maßstabgerechten Modells des zu planenden Betriebes schwerwiegende Fehler vermieden werden können.)

Kann z. B. die »Zeichnungssprache« in die »mathematische Sprache« übersetzt werden? Ja, aber warum eigentlich, wenn die Zeichnung eine präg-

nantere Antwort auf die gestellte Frage gibt. Nehmen wir als Beispiel Abb. 1 [6]. Diese Abbildung gibt das Verteilungsgleichgewicht der schwefelhaltigen Verbindungen in der Flamme von Propan und Luft in verschiedenen Mischungsverhältnissen bei einer Dosierung von 1% Schwefeldioxid an. Es ist kaum vorstellbar, daß die durch die Abbildung vermittelten Informationen in mathematischer Sprache einfacher, verständlicher und kompakter auszudrücken wären. Wenn aber die Berichtigung der Verwendung der »Zeichnungssprache« neben der »mathematischen Sprache« anerkannt wird, aus welchem Grunde könnte dann die Berechtigung der Anwendung der »gesprochenen Sprache« an ihrem Platz in der chemischen Technologie ausgeschlossen werden?

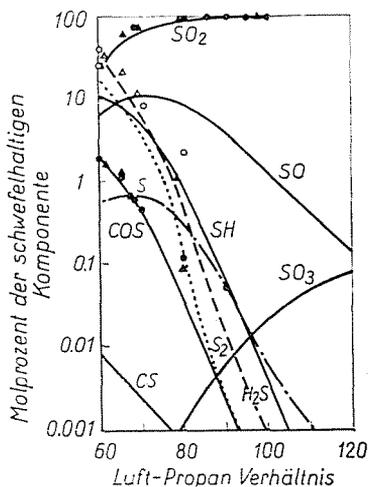


Abb. 1. Gleichgewichtsverteilung der schwefelhaltigen Komponente in [der [Propan-Luft-Flamme. Ursprünglicher SO_2 -Gehalt ist 1% [6]

Anstatt unberechtigter Vorurteile müssen *Möglichkeiten* und *Zweckmäßigkeit* den Typ der zu verwendenden Sprache bestimmen. Was Möglichkeit und Zweckmäßigkeit in diesem Zusammenhang bedeuten, kann man leicht erfassen, wenn man versucht, die in Abb. 1. dargestellten Zusammenhänge weiterentwickelt auf die in einer Kohlenstaubflamme ablaufenden Prozesse der Verbrennung des mit der Kohle eingebrachten Schwefels zu beschreiben. Das ist ein viel komplizierteres System als das in Abb. 1. vorgestellte und auf die Schwierigkeiten einer exakten Beschreibung braucht an dieser Stelle nicht eingegangen zu werden. Es ist zugleich offensichtlich, daß die Kohlenstaubflamme noch nicht als chemische Technologie anzusehen ist, sondern höchstens als eine Teilmenge einer gegebenen Technologie als Menge, z. B. der Dampf- oder Zementerzeugung, deren Kompliziertheitsgrad größer ist, als der der Kohlenstaubflamme. Im Zusammenhang mit dem, was die Begriffe Möglichkeit und Zweckmäßigkeit beinhalten, sei es gestattet, die Aufmerksam-

keit darauf zu lenken, daß diese auf dem Gebiet der Naturwissenschaften und Gesellschaftswissenschaften möglicherweise homogen sind, in Bezug auf die Technologie jedoch Gemische von natürlichen und gesellschaftlichen Elementen.

Die chemisch-technologische Funktion der Mathematik ist die zweckmäßige Beschreibung der Kenntnisse und der sich daraus ergebenden Möglichkeiten, und diese Funktion übt die Mathematik — worauf hingewiesen wurde — zumindest zusammen mit der »Zeichnungssprache« aus. Es wäre aber ein schwerer Fehler, diese Feststellung mit dem Problem der Bedeutung der Mathematik in der chemischen Technologie zu vermischen. Was die chemisch-technologische Rolle der Mathematik betrifft, so stimmen wir mit SCHULER überein [7], der sich auf zwei Extreme, die vielfach begangene Fehler darstellen, konzentriert und feststellt: »An gewissen Universitäten dominiert eine dilettantische Schule, die die wirklichen Probleme durch völliges Stoppen der Ingenieurausbildung zu umgehen versucht. Diese Leute halten sich selbst für chemische Verfahrenstechniker, aber sie mißbrauchen den Namen und segeln unter falscher Flagge. In Wirklichkeit handelt es sich um Abteilungen angewandter Mathematik oder mathematischer Physik, ja sogar metaphysischer Mathematik, aber gewiß nicht um Ingenieurschulen. Sie verachten die reale Welt . . .«.

Das andere Extrem charakterisiert er als ». . . Variation der Rückkehr in den Mutterleib oder als blinde Empirie (Dead Dodoism). Diese Schule glaubt, was für unsere Väter gut genug war, ist auch gut für uns. Computer sind grundsätzlich schlecht und der richtigdenkende Ingenieur sollte nichts mit ihnen zu tun haben.«

Die Situation und insbesondere Bedeutung und Platz der Mathematik in der chemischen Technologie könnte kaum farbiger und plastischer gekennzeichnet werden, aber es ist für uns vielleicht wichtiger, die Aufgaben und die Ressourcen der Zukunft zu untersuchen, als dieser Frage weiter nachzugehen.

Die ungarische chemisch-technologische Schule

Bahnbrecher der ungarischen chemischen Technologie war Prof. Vince WARTHA (1844—1914), dem die Professoren Ignác PFEIFER (1867—1941) und József VARGA (1891—1956) folgten. Den durch sie bereiteten Weg weiterschreitend hat Professor Mór KORACH (1888—1975) das Descartessche Tabula rasa-Prinzip angewandt und die Fragen beantwortet. Nach der Analyse KORACHS [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14] hat, ohne auf die Einzelheiten seiner Ausführungen einzugehen, die technische Entwicklung die Anerkennung des spezifisch wissenschaftlichen Wesens der Praxis erzwungen, und dem ist auch die Einführung der Bezeichnung Wissenschaft der Technologie oder Technik zu danken. Heute ist es schon offensichtlich, daß ein qualitativer Unterschied

zwischen den prinzipiellen und technischen Wissenschaften besteht; die ersteren fassen die Grenzfälle der letzteren zusammen. Zugleich kann auf beiden Gebieten mit Recht die theoretische und praktische Seite der gegebenen Wissenschaft unterschieden werden. Die Technologie kann nicht aus den prinzipiellen Wissenschaften abgeleitet werden; ähnlich wie die prinzipiellen Wissenschaften hat sie sowohl eine eigene Theorie als auch eine eigene Praxis.

Die technischen Wissenschaften — und so auch die chemische Technologie — werden durch die sich daran anschließenden prinzipiellen Wissenschaften in erster Linie durch ihre viel größere Kompliziertheit und durch die Tatsache unterschieden, daß ihre gesellschaftliche Seite so wesentlich, daß sie unumgänglich ist. KORACH wies nicht nur nach, daß die chemische Technologie eine ihr eigene Theorie hat, sondern er zeigte auch ihre Grundzüge auf. Im folgenden soll ein kurzer Überblick über die auf dem »allgemeine chemische Technologie« genannten Gebiet erreichten Ergebnisse gegeben werden.

Die Darstellung der chemisch-technologischen Prozesse

Als Untersuchungsmethode wählte KORACH die vergleichende Analyse der Technologien, wobei eine neue Sprache zur Beschreibung der Technologien ausgebildet werden mußte. Die Darstellung der Technologien durch Graphen macht sich die Vorteile der graphischen Sprache zunutze und ist zugleich die natürliche Basis der direkten Anwendung der mathematischen Sprache. Unter dem Gesichtspunkt der Darstellung durch Graphen bzw. der Ausbildung der Theorie der chemischen Technologie ist die Systemlosigkeit geradezu überraschend, die die Verfahrensabbildung selbst in ansonst sorgfältig systematisierten Werken wie z. B. in der chemischen Technologie von WINNACKER—KÜCHLER kennzeichnet [15]. Als Beispiele sollen die Verfahrensabbildungen der sog. integrierten Ammoniaksynthese (Abb. 2.), der Alkalichlorid-Elektrolyse (Abb. 3.) und des Kontaktschwefelsäure-Verfahrens (Abb. 4.) angeführt werden. Die Graphdarstellung des letztgenannten Verfahrens zeigt Abb. 5.

Die Grundprinzipien und Vorteile der Beschreibung technologischer Prozesse durch Graphen sollen hier nicht in Einzelheiten erörtert werden. Die wichtigsten von diesen, z. B. die Möglichkeit der Weiterentwicklung in Richtung der quantitativen Charakterisierung der Prozesse oder die Verbindung der Graphen mit Sankey-Diagrammen, ergeben sich durch Vergleich der Abb. 4 und 5.

In Verbindung mit der Darstellung chemisch-technischer Verfahren muß auf die Kardinalfrage aufmerksam gemacht werden, daß in der Technologie und damit auch in der chemischen Technologie natürliche und gesellschaftliche Parameter komplex zur Geltung kommen. Der Unterschied zwischen technischen und prinzipiellen Wissenschaften besteht eben darin, daß in den

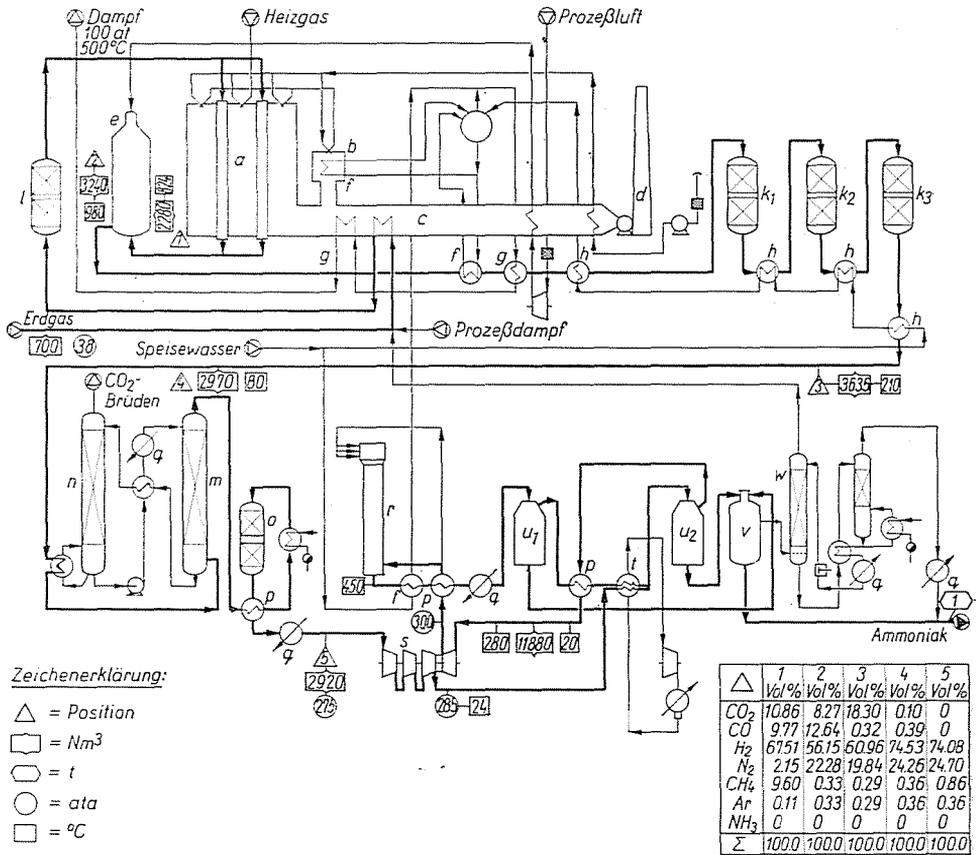


Abb. 2. Prozeßschema einer integrierten Ammoniakanlage ([15] Band 1 p. 645)
 a Primärreformer, b Zusatzkessel, c Rauchgaskanal, d Kamin, e Sekundärreformer, f Dampf-
 erzeuger, g Dampfüberhitzer, h Speisewasservorwärmer, i Prozeßluftverdichter, k CO-Konver-
 tierung, l Entschwefelung, m CO₂-Absorber, n CO₂-Desorber, o Methanisierung, p Wärme-
 taucher, q Kühler, r NH₃-Synthesekonverter, s Synthesegasverdichter, t Tiefkühler, u NH₃-
 Abscheider, v Zwischenentspannungsgefäß, w Restgaswascher

technischen Wissenschaften die Zahl der Parameter grundsätzlich größer ist und die gesellschaftlichen Parameter von entscheidender Bedeutung sind. Obwohl dies ganz offensichtlich ist, wird in unseren Verfahrensdarstellungen auf die gesellschaftlichen Zusammenhänge nicht einmal hingewiesen. Die unrichtige Anschauung der wissenschaftlichen Relationen verhüllt heutzutage dieses Problem noch vollständig, doch ist es interessant, daß auch dieses Problem nicht neu ist. Abb. 6 [16] wurde bereits schon von HOUGEN [3] ausgewählt.

Als eine alte chemisch-technologische Verfahrensdarstellung wird hier ein Holzschnitt aus dem Werk »De re metallica« von Georgius AGRICOLA wiedergegeben, der aus dem Jahre 1550 stammt und ein aus Meerwasser-

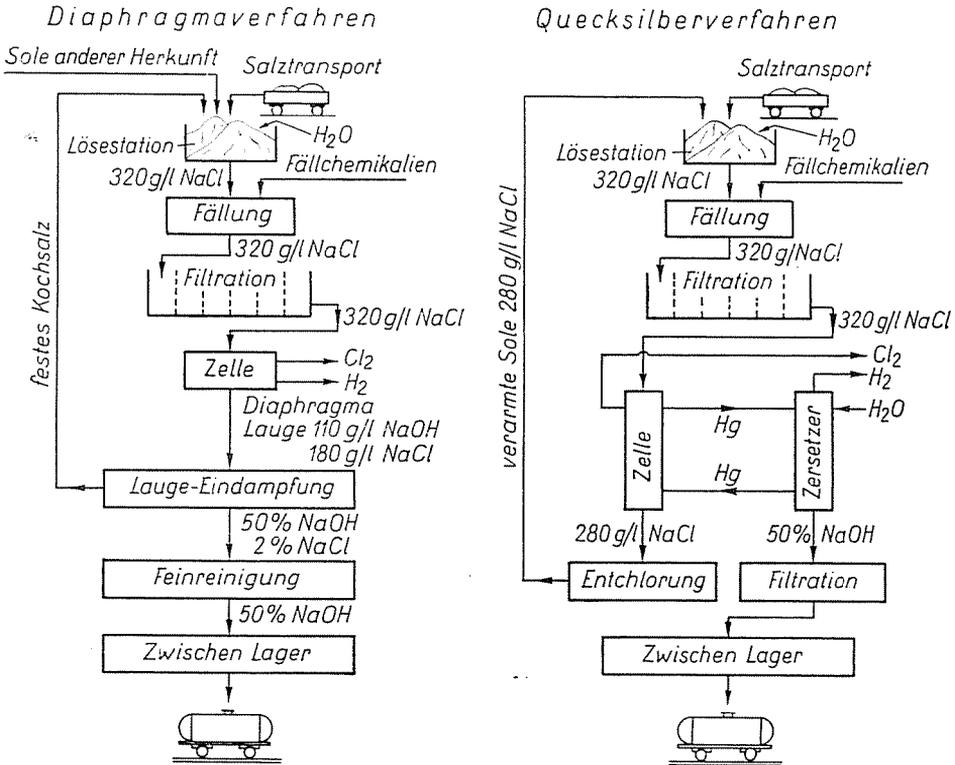


Abb. 3. Prinzipschema des Diaphragmaverfahrens (links) und des Quecksilberverfahrens (rechts) ([15] Band 1 p. 243)

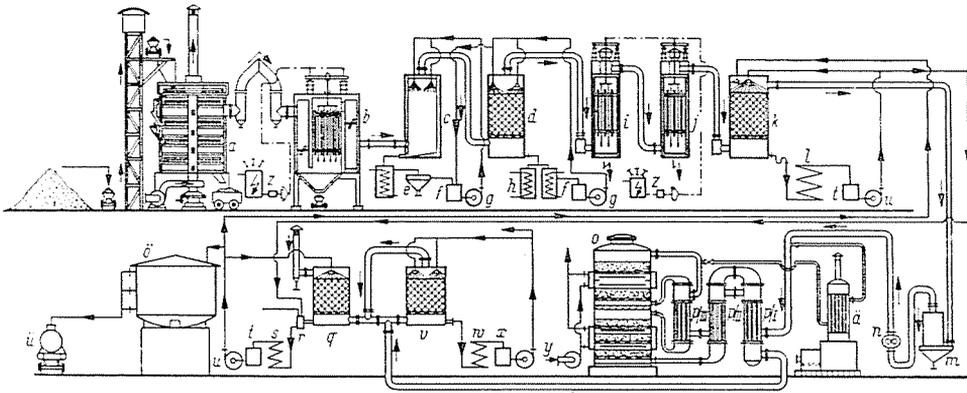
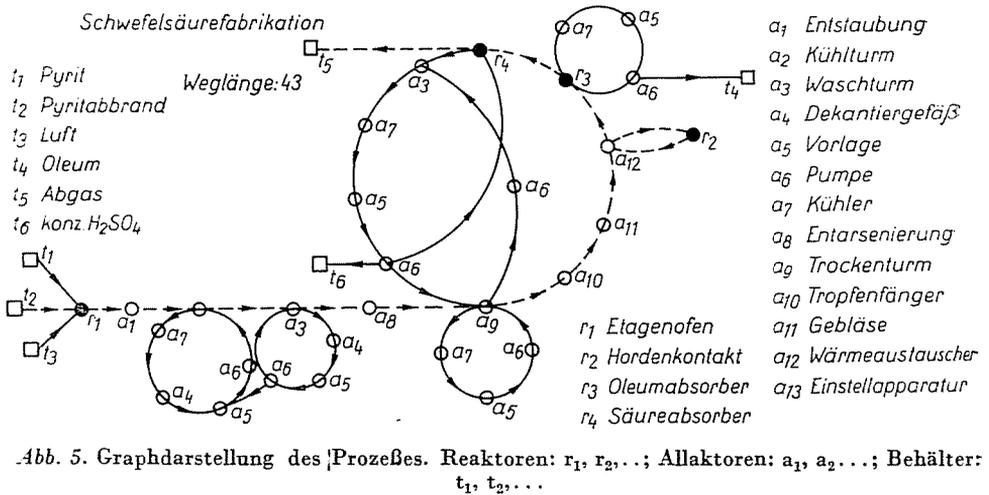


Abb. 4. Fabrikation von Schwefelsäure und Oleum nach dem Kontaktverfahren (Bauweise Chemiebau) (15) Band 2 p. 51). a Etagenofen, b elektrische Entstaubung, c leerer Kühlturm, d Waschturm mit Füllkörpern, e Dekantiergefäß für Waschsäure, f Vorlagen für Waschsäuren, g Pumpen für Waschsäuren, h Kühler für Waschsäuren, i elektrische Entarsenierung, j elektrische Entarsenierung, k Rieselfilter (Tropfenfänger), n Rootsgebläse, o Herdenkontakt, p I, II, III Wärmeaustauscher zu o, q Schwefelsäureabsorber, r Einstellapparat, s Rieselkühler für Absorbiersäure, t Pumpenvorlagen, u Pumpen, v Oleumabsorber, w Oleumkühler, x Oleumpumpenvorlage, y Oleumpumpe, z Hochspannungsgleichrichteranlagen für die Elektrofilter, ä Anheizter für Kontaktapparat, ö Lagertank für konz. H_2SO_4 , ü Kesselwagen



zuführung, Verdunsten, Kristallisation und Absetzen bestehendes Verfahren zur Salzgewinnung aus Meerwasser darstellt, wobei die Energie durch die Sonne geliefert wird. Dieses diskontinuierliche Verfahren war sicher schon mehrere hundert Jahre vor 1550 in Gebrauch. Wir stimmen mit HOUGEN darin überein, daß diese Verfahrensdarstellung mehr als moderne Verfahrensdarstellungen bietet, da neben den verwendeten Apparaturen, Werkzeugen und Einrichtungen auch die Arbeiter und Aufseher dargestellt sind. »Der Mann auf dem Hügel scheint um Sonnenschein zu beten. Auf der linken Seite der Abbildung gibt ein Chemieingenieur dem Betriebsinhaber Ratschläge und die Holzfaßherstellung im Vordergrund aus Dauben und Reifen ähnelt der in heutigen Böttcherwerkstätten.«

Es ist vielleicht nicht als Übertreibung anzusehen, wenn festgestellt wird, daß unsere Verfahrensdarstellungen noch Möglichkeiten der Weiterentwicklung bieten.

Die spezifischen Gesetze und Regeln der chemischen Technologie

Um auf die Fragen des Gehalts zurückzukommen soll erwähnt werden, daß nach KORACH die sich von den prinzipiellen Wissenschaften unterscheidenden Grundgesetze der »allgemeinen chemischen Technologie« sich auf den Kostenparameter, auf die große Zahl der Parameter, auf die Maßstabswirkung und auf die Automatik beziehen.

Nach dem *Kostenparameter-Gesetz* hat jedes Verfahren ein Selbstkostenmaximum. Ein vom Gesichtspunkt der prinzipiellen und technischen Wissenschaften aus einwandfrei arbeitendes Verfahren kommt vom technologischen Standpunkt aus dann nicht in Frage, wenn die Selbstkosten des Produktes

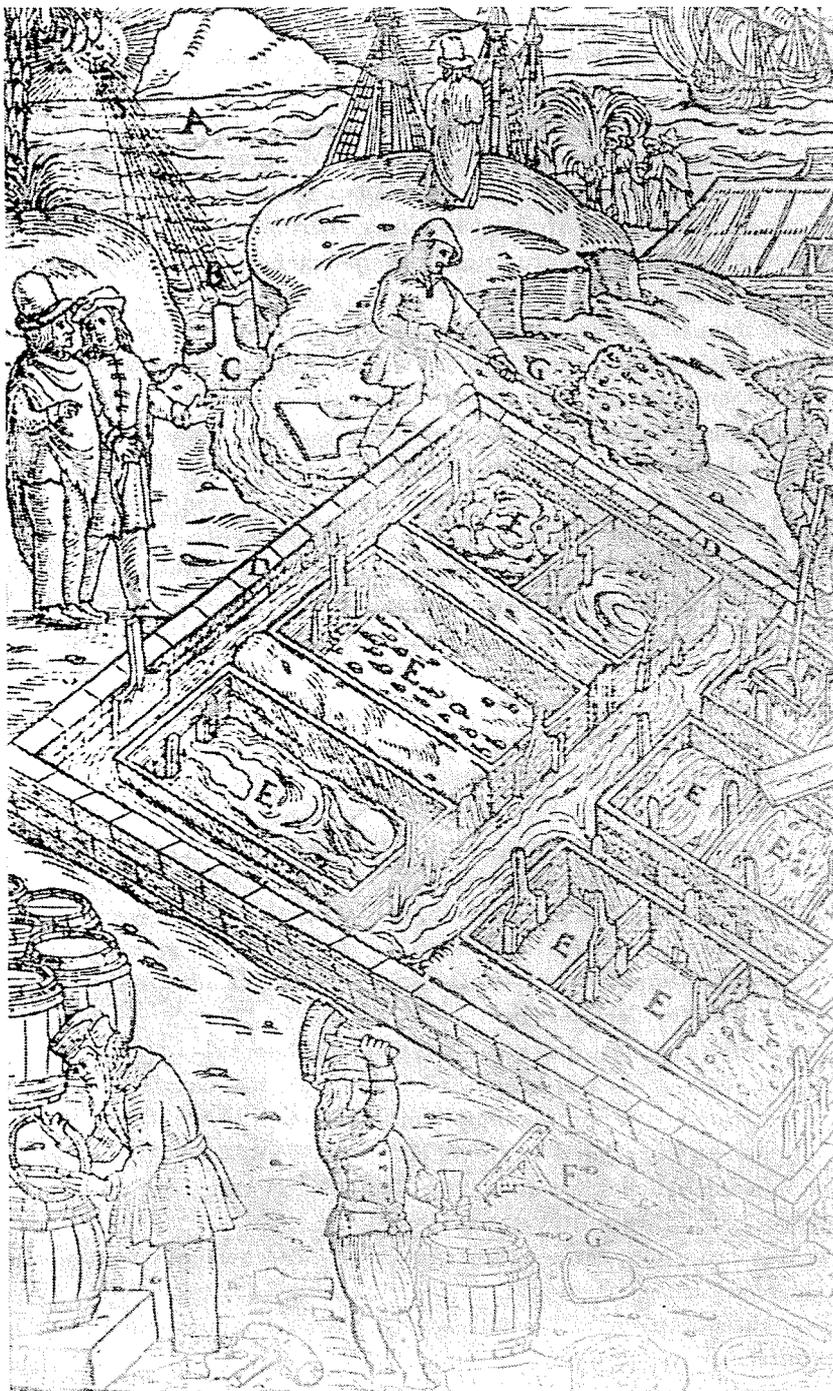


Abb. 6. Salzgarten am Meer [16]

höher als der Marktpreis sind. Die Kostenminimumsberechnung ist deshalb als die wichtigste chemieingenieur-technische Berechnung anzusehen.

Das *Gesetz der großen Zahlen der Parameter* ist an LE CHATELIER' Namen gebunden. Es sagt aus, daß in der chemischen Technologie die Trennung sämtlicher Parameter unmöglich ist und man demzufolge gezwungen ist, sich mit der Berücksichtigung der entscheidenden Parameter zu begnügen.

Nach dem *Gesetz der Maßstabswirkung* erfordert eine über ein bestimmtes Maß hinausgehende Veränderung aller chemischen Verfahren und Einrichtungen neue Maßnahmen.

Nach dem *Gesetz der Automatisierung* kann die Parameterstreuung nur durch Automatisierung in bestimmten Grenzen gehalten werden.

Die allgemeine chemische Technologie als Wissenschaft der industriellen Chemiebetriebe befaßt sich mit denjenigen Gesetzmäßigkeiten, die für alle Chemiebetriebe unabhängig vom speziellen Produkt, das in einem gegebenen Betrieb hergestellt wird, kennzeichnend sind. Außer den erwähnten Grundgesetzen befaßt sie sich mit der *Ausarbeitung von Technologien* sowie mit der *Methodologie der Inbetriebhaltung*. Schließlich gibt sie Einblick in die *Entwicklungsrichtungen*, was besonders heutzutage wichtig ist, wo das Neue so schnell das Alte ablöst, daß ein geplantes Verfahren manchmal schon im Laufe der Planung veraltet.

Die *Entwicklungsgesetze* der chemischen Technologie können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

- a) Verminderung der Kostenparameter
- b) Verminderung des Energieverbrauchs
- c) Vergrößerung der erzeugten Produktion pro Volumeneinheit der Einrichtung und Arbeitseinheit
- d) Vergrößerung des Produktionsvolumens
- e) Entwicklung der Automatisierung
- f) Ausarbeitung »wissenschaftsartiger«, d.h. mit reinen Verbindungen arbeitender Technologien
- g) Ausweitung des Einsatzes kontinuierlicher Arbeitsganges
- h) Bau von um- bzw. auseinandermontierbaren Betriebstypen
- i) Auftreten von unumgänglichen Nachteilen bei neuen Technologien, neben entsprechenden Vorteilen
- j) Wirtschaftliche Aufarbeitung von Rohstoffen, die immer weniger wertvolle Bestandteile enthalten
- k) Erhöhung der Ausbeute unter asymptotischer Annäherung an einen Grenzwert.

Die Aufzählung wird vervollständigt durch die entsprechenden Kapitel der *Optimierung* und *System*.

Über die Existenz und die Bedeutung der angeführten und ähnlicher Zusammenhänge ist sich jeder Technologe im klaren. Ihre Darlegung dient,

verflochten mit konkreten Technologien, der Vertiefung der »Ingenieuranschauungsweise«. Trotz ihrer gut erkannten Bedeutung ist auf eine die jetzige Situation gut charakterisierende Weise ihre Ausarbeitung völlig inhomogen; in bestimmten Fällen ist ihre Ausarbeitung noch nicht einmal begonnen. Im Interesse des Aufzeigens des Problems und der Erweckung von Aufmerksamkeit halten wir es für notwendig, einige Anfangsergebnisse darzulegen.

Bezüglich der Senkung der Kostenparameter hat KORACH [17] bei der Untersuchung der wichtigsten Produkte der anorganisch-chemischen Industrie (Salpetersäure, Soda, Chlor, Kalk, Steinsalz, Salzsäure, Ammoniak, Schwefelsäure, Phosphorsäure) eine exponentielle Senkung der Preise nach folgendem Zusammenhang festgestellt:

worin

$$A(t) = a + be^{-ct}$$

$A(t)$ der homogenisierte Durchschnittspreis in Abhängigkeit von der Zeit,

a die Asymptote der Preisfunktion,

b, c charakteristische Konstanten für das in Frage stehende Produkt und

t die Zeit sind.

Es ist offensichtlich, daß die Tendenz der Preissenkung im engen Zusammenhang mit der Tendenz der exponentiellen Erhöhung des Produktionsvolumens der chemischen Industrie steht, obwohl sie nicht ausschließlich darauf zurückzuführen ist.

Die Erhöhung des Produktionsvolumens kommt hauptsächlich durch Schaffung neuer Produktionskapazitäten zustande, kennzeichnend ist aber auch, daß die neuen Investitionen größere Produktionskapazitäten darstellen als die bereits im Betrieb befindlichen Anlagen.

KORACH stellte die Gültigkeit des folgenden Zusammenhangs zwischen Selbstkosten und Kapazität fest:

$$A_s = nC^{-m}$$

worin

C die Produktionskapazität und

n und m für das Produkt charakteristische Konstanten sind.

Nach der Untersuchung von 90 typischen Produkten der Chemieindustrie verändert sich die Kapazitätswachstumskonstante m verhältnismäßig wenig mit der Natur des Produktes, da ihr Wert zwischen 0,30 und 0,37 liegt.

Bei der Zusammenfassung der im Zusammenhang mit der Optimierung stehenden Gesichtspunkte des Chemieingenieurs machen BENEDEK und LÁSZLÓ [18] einen Versuch zur Lösung des unserer Meinung nach sehr wichtigen

und sehr schwierigen Problems der *Synthese von Naturwissenschaft und Ökonomie*.

Von den möglichen alternativen Zielfunktionen halten sie entweder die Angabe des Gewinns (P) oder der Selbstkosten (A_s) als Funktion der unabhängigen technologischen Variablen der Operationseinheit für gerechtfertigt:

$$A_s = g(I_j) \quad P = f(I_j)$$

worin

I_j die zum Basissystem der Operationseinheit gehörenden unabhängigen Variablen bedeuten. Der Index j kann deshalb die Werte von 1 bis F annehmen. F ist der Freiheitsgrad.

Als Abschluß der sich auf die Entwicklungsgesetze beziehenden Ausführungen soll auf einige bei der Analyse der durch Graphen dargestellten technologischen Entwicklung erhaltenen Ergebnisse hingewiesen werden. Ausgewählt aus den Untersuchungen sind einige Daten der Benzin- und Kontaktschwefelsäureherstellung in Abb. 7. bzw. in Tabelle 1. angegeben. Aus der mathematischen Analyse der bei der Untersuchung der Aufarbeitung des Erdöls durch Destillation, der Benzin-, Nitrose- und Kontaktschwefelsäureproduktion, der Tonerdeherstellung und der Technologien der keramischen Industrien kann darauf geschlossen werden, daß sich die Zahl der Graphenelemente in Abhängigkeit von der Zeit exponentiell einem Grenzwert nähert [14].

Außer der Darlegung der *Entwicklungsgesetze* sind die *Entwicklungsrichtungen*, die *Methodologie der Entwicklung* und die *Methodologie der Betriebsführung* weitere natürliche Kapitel der allgemeinen chemischen Technologie. Deren Thesen sind den Technologen ebenfalls gut bekannt, zugleich ist ihre systematische und detaillierte Darlegung ebenfalls eine Aufgabe der Zukunft.

Mit der Analyse der Geschichte der chemischen Technologie wurde eine Antwort auf die Frage nach dem Mechanismus der Entwicklung gesucht. Unsere Erfahrungen sind unter Verzicht auf nähere Darlegungen in dem in Abb. 8 wiedergegebenen qualitativen Modell zusammengefaßt.

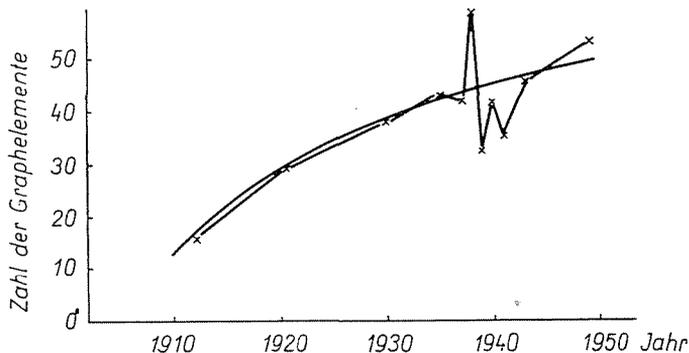


Abb. 7. Die Veränderung der Zahl der Graphenelemente bei der Benzinherstellung [14]

Tabelle 1

Zahl der Kreisprozesse und maximale Weglänge der Kontaktschwefelsäureproduktion [14]

| Jahr der Einführung | System | Zahl der Kreisprozesse | Maximale Weglänge |
|---------------------|--------------------|------------------------|-------------------|
| 1901—1909 | BASF und Tentelev | 1 | 12 |
| 1920 | Lurgi Apparatebau | 2 | 10 |
| 1920 | Kuhlmann Co. | 1 | 12 |
| 1940 | Monsanto A. D. | 3 | 10 |
| 1940 | Monsanto | 5 | 19 |
| 1950—1955 | Chemiebau | 4 | 18 |
| 1960 | Bayer Farbenfabrik | 6 | 22 |

Die mit der Lehre der allgemeinen chemischen Technologie zusammenhängenden Schlußfolgerungen folgen als Zusammenfassung unserer Darlegungen: Es ist falsch zu glauben, daß die wesentlichen Probleme schon gelöst sind.

Die Aufgaben bestehen jetzt in der Klarlegung der Möglichkeiten, der ungelösten Probleme und der Gültigkeitsbereiche unserer wissenschaftlichen und empirischen Erkenntnisse. Zu einem solchen Studium müssen die prinzipiellen Wissenschaften und auch die beschreibende Technologie als Einführung genutzt werden.

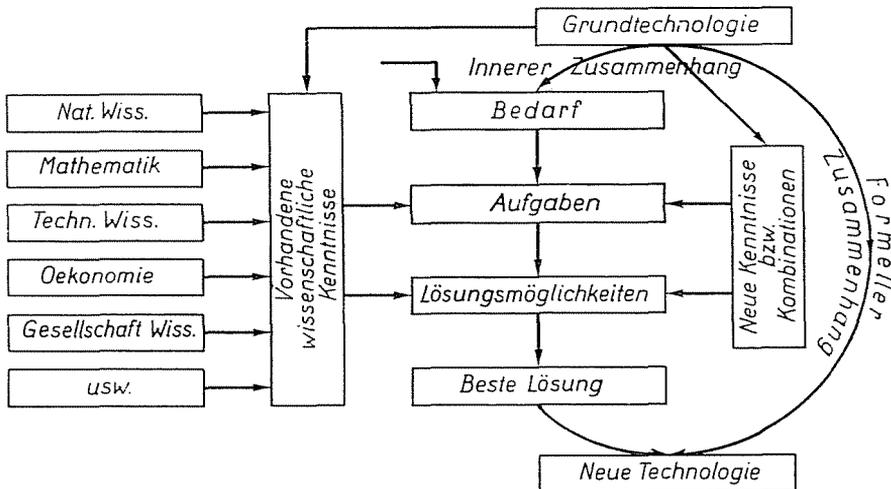


Abb. 8 Das qualitative Modell der Technologieentwicklung

Der chemisch-technologische Unterricht an unserer Fakultät

An der Chemieingenieur-Fakultät der Technischen Universität Budapest wird die »Allgemeine chemische Technologie« in der zweiten Hälfte des zweiten Studienjahres in wöchentlich 3 Stunden Vorlesung und 3 Stunden

Praktikum gelehrt. Im Rahmen der Vorlesung werden die oben dargelegten Gesetze der allgemeinen chemischen Technologie, sowie Energieträger und Energiewirtschaft, die chemische Technologie der Kohle, des Erdöls, des Erdgases, der Silikate, der Metalle, der nuklearen Spaltstoffe, des Steinsalzes und der Schwefel-, Tonerde- und Stickstoffindustrien, Fragen des Umweltschutzes und des Korrosionsschutzes und die Technologie des Wassers und Abwassers behandelt.

Zur allgemeinen chemischen Technologie gehören auch die von unserem Lehrstuhl unterrichteten wahlobligatorischen Disziplinen: »Die Entwicklungsgesetze der chemischen Technologie«, die von den Chemieingenieurstudenten im IV. Semester, so wie »Die Reaktoren in der chemischen Technologie«, die im VII. Semester gewählt werden können.

Die hauptsächlich an Metallapparaturen halbtechnischen Ausmaßes ausgeführten Praktikumsübungen schließen sich eng an die Vorlesungen an. Dem wird von uns eine große Bedeutung zugemessen.

Der Lehrplan enthält für das erste Halbjahr des vierten Studienjahres zwei Vorlesungsstunden pro Woche und für das zweite Semester zwei Praktikumsstunden in »Chemisch-technologische Kybernetik«, die auf den Stoff der allgemeinen chemischen Technologie des zweiten Studienjahres aufgebaut sind. Dieser Stoff umfaßt die chemisch-technologischen Systeme, die Steuerung industrieller chemischer Verfahren und die Anwendungsmöglichkeiten der Rechentechnik. Selbstverständlich wird an unserer Fakultät auch die chemische Technologie zahlreicher Spezialgebiete z. B. Technologie der Arzneimittel-, Textil- und Lebensmittelindustrie sowie organisch-chemische und petrochemische Technologie gelehrt.

Mit der Abstimmung der Fächer »Allgemeine chemische Technologie« und »Chemisch-technologische Kybernetik« wird versucht, anstatt auf die unfruchtbare Gegenüberstellung, Unter- und Überordnung der prinzipiellen und technischen, der theoretischen und praktischen Wissenschaften auf das innere Wesen der tatsächlichen Zusammenhänge zu bauen. Die Bestrebungen der ungarischen technologischen Schule scheinen die geschichtliche Erfahrung zu bestätigen, die SZABADVÁRY [19] folgendermaßen formuliert hat: »Das große Zeitalter der synthetischen Chemie kam, in welcher Deutschland durch diese in der Welt zuerst dort stattgefundenen glücklichen Verbindung von Grundlagen- und angewandter Forschung, von Universität und Fabrik eine solche führende Rolle gewann, daß zwei verlorene Weltkriege notwendig waren, um sie zu verlieren.«

Schließlich möchten wir die in der Einleitung aufgeworfene Frage mit einem entschiedenen Ja beantworten. Die chemische Technologie ist mit der Erschließung einer ganzen Reihe von anders nicht abzuleitenden Invarianten, mit den zu ziehenden bedeutenden Schlußfolgerungen eine Wissenschaft, deren vollständige Entfaltung eine Aufgabe der Zukunft ist.

Zusammenfassung

Die Verfasser behandeln Fragen der chemischen Technologie als Wissenschaft in Verbindung mit dem Ausbildungsplan von Studenten an der Technischen Universität Budapest. Sie verweisen auf Aufgaben, die im Laufe der Entwicklung entstanden und zeigen die Bestrebungen, mit denen es gelingt, die beschreibende chemische Technologie zu einer Wissenschaft und zu einem Lehrfach zu entwickeln, das immer mehr die Gesetzmäßigkeiten und Systeme der chemischen Technologie behandelt. Sie besprechen endlich die Forschungs- und Ausbildungsarbeit, die an der chemischen Fakultät der Technischen Universität Budapest durchgeführt wird.

Literatur

1. HOLLÓ, J.—SZEÉÉNYI, I.: *Per. Polytechn. Chem. Eng.* **11**, 155 (1967)
2. SZEÉÉNYI, I.: *Per. Polytechn. Chem. Eng.* **21**, 3 (1977)
3. HOUGEN, O. A.: *Chem. Eng. Progress* **73**, 89 (1977)
4. POLINSZKY, K.: A hazai vegyészképzés és a kémiai kutatás történeti áttekintésben. (Die einheimische Chemikerausbildung und die chemische Forschung im geschichtlichen Überblick). A Magyar Vegyészeti Múzeum kiadványai, 17. füzet, Várpalota 1978 (Ungarisch)
5. BERNAL, J. D.: *Science in History*. 2nd Edition Watts, London 1957. p. 5
6. JOHNSON, G. M.—MATTHEWS, C. J.—SMITH, M. Y.—WILLIAMS, D. J.: *Combustion and Flame* **15**, 211 (1970)
7. SCHULER, R. W.: *Chem. Eng. Progress* **61**, 10, 30 (1965)
8. KORACH, M.: A kémiai technológia, mint tudomány. (Die chemische Technologie als Wissenschaft.) *Wissenschaftliches Jahrbuch der Technischen Universität Budapest für 1961*. Tankönyvkiadó, Budapest 1961. p. 186—200 (Ungarisch)
9. KORACH, M.: *Veszprémi Vegyipari Egyetem Közleményei* **4**, 227 (1960) (Ungarisch)
10. KORACH, M.: *MTÁ Kémiai Tudományok Osztályának Közleményei* **11**, 205 (1959) (Ungarisch)
11. KORACH, M.: *Magyar Tudomány* **2/64**, 205 (1957) (Ungarisch)
12. KORACH, M.: *Per. Polytechn. Chem. Eng.* **9**, 263 (1965)
13. KORACH, M.: *Acta Chim. Sci. Hung.* **50**, 457 (1966)
14. KORACH, M.—HASKÓ, L.: *Kémiai technológiai rendszerek gráfelméleti vizsgálata*. (Graphoelementuntersuchung chemisch-technologischer Systeme). Akadémiai Kiadó, Budapest 1975. (Ungarisch)
15. WINNACKER, K.—KÜCHLER, L.: *Chemische Technologie*. Carl Hauser Verlag, München, Band 1—7, 1970—1975.
16. AGRICOLA, G.: *De re metallica libri XII*. Georgius Agricola. *Ausgewählte Werke*. WEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1974. p. 670
17. KORACH, M.: A kémiai technológia egyik fejlődési törvénye és annak jelentősége a vegyipari berendezések automatizálása szempontjából (Eines der Entwicklungsgesetze der chemischen Technologie und dessen Bedeutung vom Standpunkt der Automatisierung chemischer Industrieanlagen.) *Konferenz des Vereins Ungarischer Chemiker, Budapest, 23—25 August 1962*. A-I-1. (Ungarisch)
18. BENEDEK, P.—LÁSZLÓ, A.: *Les Bases Scientifiques du Génie Chimique*. Dunod, Paris 1972.
19. SZABADVÁRY, F.: *Per. Polytechn. Chem. Eng.* **20**, 291 (1976).

Doz. Dr. Zoltán ADONYI }
 Doz. Dr. Imre SZEÉÉNYI } H-1521 Budapest