

**Grundlagen
der Verfahrenstechnik
und chemischen
Technologie**

**Основы
химической техники
и технологии**

**Probleme
der modernen
chemischen
Technologie**

**Проблемы
современной
химической
и технологии**

Probleme der modernen chemischen Technologie

Проблемы современной химической технологии

Mit 151 Abbildungen und 22 Tabellen



AKADEMIE · VERLAG · BERLIN

1980

1451

Verantwortlich für die Herausgabe dieses Bandes:

Prof. Dr. K. Hartmann, Merseburg

Prof. Dr. W. Schirmer, Berlin

Erschienen im Akademie-Verlag, 1080 Berlin, Leipziger Straße 3—4

Lektor: Fritz Schulz

© Akademie-Verlag Berlin 1980

Lizenznummer: 202 · 100/461/80

Gesamtherstellung: VEB Druckhaus „Maxim Gorki“, 7400 Altenburg

Bestellnummer: 762 716 9 (2144/9) · LSV 1205/1095

Printed in GDR

DDR 78,00 M

Probleme der modernen chemischen Technologie

Проблемы современной химической технологии

Grundlagen der Verfahrenstechnik und chemischen Technologie

ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Herausgeber

Prof. Dr. K. Hartmann, Merseburg

Prof. Dr. W. Schirmer, Berlin

Ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR

Prof. Dr. M. G. Slinko, Moskau

Korr. Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR

Редакторы

профессор доктор К. Хартманн, Мерзебург

профессор доктор В. Ширмер, Берлин
член АН ГДР

профессор доктор М. Г. Слинько, Москва
член-корреспондент АН СССР



AKADEMIE - VERLAG · BERLIN

1980

VORWORT

Technologie als Wissenschaft

In den letzten 100 Jahren erhöhte sich die Produktivität vieler technischer Prozesse, besonders aber in der Stoffwirtschaft, auf das Zehnfache. Diese gewaltige Entwicklung der Produktivkräfte ist vor allem auf das Wachstum an wissenschaftlichen Erkenntnissen in den Naturwissenschaften und auf gesellschaftswissenschaftlichem Gebiet zurückzuführen. Die Wissenschaft ist zu einer entscheidenden Produktivkraft geworden. Der Umfang, in dem heute neue wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden, hat sich im Laufe der 100 Jahre ebenfalls vervielfacht.

Wir betrachten die Forschung von den Grundlagen bis zur Anwendung der Erkenntnisse in der Praxis als einen einheitlichen Prozeß. Die Effektivität wissenschaftlicher Resultate für technische Verfahren ist um so größer, je besser es gelingt, einzelne Etappen dieses einheitlichen Forschungsprozesses miteinander zu verbinden und das Prinzip der Arbeitsteilung für diese einzelnen Stadien so einzusetzen, daß eine wirkungsvolle Kooperation zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung möglich ist. Erkenntnisse der Grundlagenforschung vermögen allein nicht unmittelbar auf die Produktion einzuwirken. Sie bedürfen dazu der Technik, die das erworbene Wissen durch konstruktive und apparative Gestaltung realisiert und die Kenntnis der Naturgesetze ausnutzt, um die Effektivität der menschlichen Arbeit zu erhöhen.

Im Laufe einer langen Menschheitsgeschichte, die vor allem dadurch charakterisiert ist, daß der Mensch sich immer stärker zum Beherrscher der Natur entwickelt, spielt die Technik eine große Rolle. Ursprünglich bezeichnete sie eine „Kunstfertigkeit“, eine aus der Praxis gewonnene Erfahrung, die Kollektive von Menschen erwerben, um Erze zu schmelzen, Metalle zu gewinnen, Töpfereien zu betreiben, Glas zu blasen, die Wasserkraft und die Kraft des Windes zu nutzen und Baumaterialien herzustellen. Alle diese Prozesse stellen Vorschriften dar, wie etwas gemacht wird. Jahrtausendlang konnte aber der Mensch keine Antwort auf die Frage geben, warum ein Prozeß so abläuft und wie er auf Grund exakter Kenntnis der Zusammenhänge besser zu gestalten ist. Es gilt die Feststellung von Karl MARX: *„Sie (die Menschen) haben schon gehandelt, bevor sie gedacht haben“*. Das Wissen um viele der genannten Prozesse war ein wohlbehütetes Geheimnis, das das Leben des Stammes oder des Volkes bereicherte, ihm eine Überlegenheit gegenüber Nachbarn gab, die die jeweilige Technik noch nicht beherrschten und die ggf. durch richtige Anwendung dieses Wissens in eine abhängige Lage gebracht werden konnten. Die Technik als

Ausdruck der Auseinandersetzung des Menschen mit der Natur war von Anfang an ein wesentlicher Faktor der gesellschaftlichen Entwicklung.

Der Begriff der Technologie ist gerade erst 200 Jahre alt. Er wurde um 1780 durch Johann BECKMANN eingeführt, der die Technologie als eine „*Wissenschaft, welche die Verarbeitung der Naturalien oder die Kenntnisse der Handwerke lehrt*“, definierte. Die Lehre von der Technik — und nichts anderes bedeutet ja die wörtliche Übersetzung des Begriffes „Technologie“ — wurde also schon sehr früh mit dem wissenschaftlichen Charakter dieser neuen Disziplin in Verbindung gebracht. Die Frage aber, warum ein Prozeß abläuft, konnte ja erst beantwortet werden, als durch exakte wissenschaftliche Untersuchungen, durch Experimente und ihre richtige Auswertung ein Wissensstand erreicht wurde, der wichtige, den stofflichen Umsetzungen zugrunde liegende Naturgesetze erkannt hatte.

Auf dem Gebiet der Chemie wurde dieser Wissensstand erst gegen Ende des 18. Jahrhunderts erreicht. Zu dieser Zeit waren zwar schon zahlreiche chemische Verfahren in den technischen Maßstab überführt worden — man konnte Schwärzpulver herstellen und Schwefelsäure produzieren, man bereitete Erze auf und gewann Nitate — aber vielfach war die geistige Ausgangsposition für diese Verfahren noch die unwissenschaftliche Lehre der Alchemisten. Mit der Entdeckung des Gesetzes von der Erhaltung der Masse bei chemischen Umsetzungen durch LOMONOSSOW 1758 und mit der Entdeckung der Elemente Sauerstoff durch PRIESTLEY und Chlor durch SCHEELE (beides im Jahre 1774) wurden wissenschaftliche Grundlagen für eine moderne Chemie geschaffen. Schließlich überwand LAVOISIER durch quantitative Untersuchung des Verbrennungsvorgangs die alchemistische Phlogistontheorie endgültig. DALTON erneuerte um 1800 das wissenschaftliche Konzept der Atome; das Gesetz der konstanten und multiplen Proportionen bei chemischen Umsetzungen erweiterte die Kenntnisse vom wissenschaftlichen Ablauf chemischer Reaktionen. DAVY gewann 1807 erstmals Alkali- und Erdalkalimetalle durch Elektrolyse, und schließlich wurde erstmals eine „organische“ Substanz, der Harnstoff, durch WÖHLER im Jahre 1828 aus anorganischen Materialien synthetisiert.

Mit diesen wenigen Angaben ist die erste Etappe der Schaffung exakter wissenschaftlicher Grundlagen der Chemie umrissen. Wie bis dahin kaum eine andere Wissenschaft war die Chemie von Anfang dieser Entwicklung an unmittelbar mit der technischen Praxis verbunden. Noch Ende des 18. Jahrhunderts wurde ein neues Verfahren zur Gewinnung von Schwefelsäure technisch erprobt. Die Leinenindustrie brauchte neue Bleichlaugen. Die Textilindustrie war es auch, die den Anstoß zu einem Verfahren zur Gewinnung von Soda aus Steinsalz gab. Die neuen reaktionschemischen und analytischen Kenntnisse wurden auf die Erzverarbeitung angewandt, so daß die Metallurgie entscheidende Impulse erhielt. Die chemischen Kenntnisse kamen schließlich auch der jungen pharmazeutischen Industrie zugute, und bereits um 1830 entwickelte sich eine Teerindustrie.

Chemisches Wissen ging also mit technischer Nutzung Hand in Hand, so daß die weitere Entwicklung der Technologie zunächst vor allem auf dem Ge-

biet der Technologie stoffwandelnder Verfahren verfolgt werden kann. Da wir uns in dieser Monographie mit der chemischen Technologie befassen wollen, sei in Zukunft auch dieses Gebiet ausschließlich verstanden.

Wenige Jahrzehnte nach dieser Entwicklungsetappe schrieb KARL MARX: *„Die große Industrie zerriß den Schleier, der den Menschen ihren eigenen gesellschaftlichen Produktionsprozeß versteckte und die verschiedenen naturwüchsig gesonderten Produktionszweige gegeneinander und sogar dem in jeden Zweig Eingeweihten zu Rätseln machte. Ihr Prinzip, jeden Produktionsprozeß an und für sich und zunächst ohne alle Rücksicht auf die menschliche Hand in seine konstituierenden Elemente aufzulösen, schuf die ganz moderne Wissenschaft der Technologie“*.

Selbstverständlich war es von dieser grundlegenden, die Zukunft vorwegnehmenden Feststellung bis zur allseitigen Anerkennung des wissenschaftlichen Charakters der Technologie, besonders auch der chemischen Technologie, noch ein weiter Weg. Nicht nur, daß die stürmische Entwicklung der chemischen Produktion wenig Zeit für ein exaktes wissenschaftliches Vorgehen bei der Entwicklung neuer Produktionsverfahren ließ, war der Grund für diese Stagnation der Entwicklung, sondern auch die zunächst entmutigende Erkenntnis, wie viele Vorgänge und Erscheinungen wissenschaftlich nicht gedeutet werden konnten, führte immer wieder zu einem rein empirischen Vorgehen auf technischem Gebiet. Jahrzehntlang wurde nicht einmal der wissenschaftliche Charakter der Technologie anerkannt. Nach wie vor überwogen Verfahrensbeschreibungen, die Klassifikation technischer Vorgänge richtete sich ausschließlich nach dem Charakter des Endproduktes. Eigene Gesetzmäßigkeiten, die dem wissenschaftlichen Wesen der Technologie entsprechen, wurden entweder nicht erkannt oder als ungeeignet für eine Klassifikation des Gebietes übersehen.

Erst mit der Entwicklung der physikalischen Chemie im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts und mit den ersten Großtaten dieses neuen Gebietes, nämlich der Entdeckung des Wesens der heterogenen Katalyse und der Ableitung der Grundsätze der elektrolytischen Dissoziation, wurden weitere wichtige Voraussetzungen für eine Technologie auf wissenschaftlicher Grundlage geschaffen. Hand in Hand damit gingen grundsätzlich neue technische Erkenntnisse, zum Beispiel bei der Entwicklung von Elektrolysezellen, der Gestaltung des chemischen Reaktors, der Anwendung thermodynamischer Grundsätze auf technische Systeme und der Entwicklung der Hochdrucktechnik. So war die Entwicklung der wissenschaftlichen Grundlagen der Chemie und der Verfahrenstechnik gleichzeitig Ausgangspunkt für die verstärkte Beachtung des wissenschaftlichen Charakters der chemischen Technologie.

1915 erkannte WALKER die Verwandtschaft aller vorwiegend auf physikalischen Vorgängen beruhenden Stufen der Aufbereitung von Rohstoffen und faßte sie unter dem Begriff der Grundoperationen zusammen. 1923 verfaßten WALKER und LEWIS ihr Werk „Principles of Chemical Engineering“, mit dem sie die wissenschaftlichen Grundlagen der chemischen Technologie unter Berücksichtigung eines modernen Erkenntnisstandes formulierten.

Die Vertiefung der Entwicklung der chemischen Technologie zu einer Wissenschaftsdisziplin wurde also maßgeblich durch zwei verschiedene Ausgangspunkte und Betrachtungsweisen erreicht:

1. Durch die verstärkte Untersuchung der den technischen Reaktionen zugrunde liegenden Elementarvorgänge, durch die Messung und später auch die Berechnung der thermodynamischen Gleichgewichte, der reaktionskinetischen Vorgänge und der Beziehungen der Phasenbildung, wobei die Betrachtung vom Elementarvorgang über zum Teil statistische Zusammenfassung bis zum reagierenden System hin erfolgte. Dieser Weg hat sich bis in die Gegenwart hinein als fruchtbar erwiesen. Er macht es heute möglich, Modelle technischer Verfahren aufzustellen und die Verfahrensbedingungen so zu variieren, daß technische Prozesse optimal gestaltet werden können. Die frühzeitige Einbeziehung dieser Betrachtungsweise in die praktische Arbeit und in die Lehre schufen die moderne chemische Technologie, die zunächst als chemical engineering vor allem in den zwanziger und dreißiger Jahren in den USA entwickelt wurde und hier eine hohe Leistungsfähigkeit erlangte.
2. Durch die Betrachtung eines chemischen Verfahrens als ein System von vielen voneinander abhängigen und miteinander gekoppelten Stufen, die aus Vorgängen des Wärmeaustausches und der Stoffverteilung, aus Kreisläufen aller Art und aus sonstigen reaktionskinetischen Vorgängen bestehen und die wir heute unter dem Begriff der Systemverfahrenstechnik zusammenfassen.

Hier geht die wissenschaftliche Methode zur Beherrschung technologischer Zusammenhänge vom Umfassenden zum Einzelnen. Die Zerlegung des Produktionsprozesses in seine Elemente stellt ein Prinzip dar, das sich für die Analyse von Produktionsverfahren sehr bewährt hat. Aus den auf diese Weise gewonnenen Erkenntnissen über den Reaktionsablauf in kleinen Bereichen des Prozesses lassen sich durch geeignete Synthese neue Elemente zusammensetzen, die auf verwandte Produktionsprozesse übertragen werden können. Der wissenschaftliche Charakter der Technologie kommt in der auf diese Weise gewonnenen Verallgemeinerungsfähigkeit zum Ausdruck. Er gestattet die gemeinsame Bearbeitung und analoge Betrachtung von Vorgängen, die zunächst wenig Gemeinsames zu haben scheinen. Dazu gehören alle Stoff- und Energieaustauschvorgänge, dazu gehört aber auch die Übertragung des Ähnlichkeitsprinzips auf die eigentliche chemische Reaktion.

Dieses flexible und sehr leistungsfähige Herangehen ermöglicht es heute, auf der Basis neuer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse zu leistungsfähigen verfahrenstechnischen Lösungen zu kommen. Die Struktur und die Elemente des Produktionsprozesses werden als veränderlich, als entwicklungsfähig betrachtet. Indem ihre Entwicklungsgesetze erkannt werden, leistet die Technologie als wissenschaftliche Disziplin einen Beitrag zur Optimierung technischer Prozesse.

Es ist verständlich, daß diese den Systemzusammenhang berücksich-

tigende Betrachtungsweise der Verfahrenstechnik bemüht ist, umfassende Zusammenhänge darzustellen. Gerade durch eine Verallgemeinerung der Ergebnisse auf einem höheren Abstraktionsniveau kommt ja der wissenschaftliche Charakter dieses Gebietes deutlich zum Ausdruck.

Gleichzeitig sollten sich aber auch alle Forscher, die sich diesem Gebiet widmen, darüber klar sein, daß die chemische Technologie nicht vom stofflichen System abstrahiert werden kann. Alle Aufgaben der technologischen Forschung müssen schließlich wieder eine konkrete Verbindung mit der materiellen Produktion erhalten. Allgemeine Gesetzmäßigkeiten „an sich“ können das Ziel der technologischen Forschung nicht sein. Die allgemeinen Erkenntnisse müssen immer wieder auf die technische Praxis bezogen werden, wenn sie den Beweis ihrer Gültigkeit liefern sollen.

Berücksichtigen wir diese beiden grundsätzlichen Betrachtungsweisen, so können wir die chemische Technologie als die wissenschaftliche Lehre der Gesetzmäßigkeiten der materiell-technischen Grundlagen von Produktionsprozessen in der Stoffwirtschaft und als die wissenschaftlich begründeten Maßnahmen zur Umsetzung der Erkenntnisse in die technische Praxis bezeichnen. Noch immer haben wir es im täglichen Sprachgebrauch auch damit zu tun, daß das Wort „Technologie“ in einem anderen Zusammenhang verwendet wird. So dient es zur einfachen Beschreibung technologischer Zusammenhänge, zur Erörterung von Verfahrensflißschemata. Hierfür sollte man das Wort Technologie nicht mehr verwenden. Sehr oft wird der Begriff der Technologie auch mit dem zugrunde liegenden Verfahren gleichgesetzt. In der Chemie heißt das, daß die zur Herstellung eines bestimmten Produktes verwendeten Verfahren und Verfahrensprinzipien eine bestimmte Technologie bilden. So spricht man zum Beispiel von der „Technologie des Benzols“. Wir schlagen vor, diesem Sprachgebrauch nicht zu folgen und hierfür den Begriff „Produktionsverfahren“ zu verwenden. Bei konsequenter Beachtung dieser Vorschläge dürften Irrtümer und Mißverständnisse, die die Diskussion von Fachkollegen verschiedener Disziplinen in den letzten Jahren unnötig belasteten, vermieden werden können.

In der DDR haben sich die Gebiete der chemischen Technologie und der chemischen Verfahrenstechnik in den letzten 20 Jahren an Universitäten und Technischen Hochschulen in dem von uns dargestellten Sinne einer engen Verflechtung mit Grundlagenkenntnissen aus den Naturwissenschaften, unter Berücksichtigung der Prinzipien der Systemverfahrenstechnik und unter Einbeziehung gesellschaftswissenschaftlicher Gesetzmäßigkeiten zu wissenschaftlichen Lehr- und Forschungsgebieten entwickelt. Wir haben damit die Voraussetzungen für wissenschaftliche Arbeiten, die sowohl neue Erkenntnisse liefern als auch eine hohe Praxisbezogenheit haben, geschaffen.

Die Herausgeber dieser Monographie betrachten es als ihre Aufgabe, durch Darlegung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse zur weiteren Entwicklung der chemischen Technologie beizutragen. Dabei widerspiegeln die ausgewählten Beiträge auch die oben angegebenen unterschiedlichen Betrachtungsweisen.

Das kommt bereits in den beiden grundsätzlichen Beiträgen von SCHIRMER und FRATZSCHER zum Ausdruck. Wir halten es jedoch für erforderlich, die Einordnung der chemischen Technologie in die gesamte Wissenschaftsentwicklung und den Prozeß der gesellschaftlichen Reproduktion allseitig zu betrachten und dabei eine umfassende Analyse der technologischen Forschung vorzulegen.

Die Darstellungen von HARTMANN und DIETZSCH sowie von HACKER und HARTMANN geben einen Überblick über den Stand der Modellierung und über die damit verbundenen Probleme sowie eine kurze Einführung in die Simulation bei verfahrenstechnischen Vorgängen. Die Simulation von Fließschemen und die Anwendung entsprechender Rechenprogramme bilden hierbei einen Schwerpunkt. Die optimale Gestaltung stoffwirtschaftlicher Verfahren als Vorstufe für noch aufzufindende exakte Gesetze optimaler verfahrenstechnischer Systeme unterliegt heuristischen Regeln, die in allgemeiner Form den Prinzipien der Modellierung zugrunde gelegt werden. Die Übertragung dieser Erkenntnisse auf konkrete technische Probleme gehört zum Anliegen dieser Beiträge.

BUDDE und STRAUSS widmen ihren Beitrag dem außerordentlich aktuellen Gebiet der Rationalisierung und der mathematischen Modellierung des elektrothermischen Calciumcarbidprozesses. Sie gehen dabei ebenfalls nach den Grundsätzen der Systemverfahrenstechnik vor und wenden das Dekompositionsprinzip an. Die hierbei erzielten Ergebnisse haben eine große Bedeutung für die gegenwärtige Praxis in der DDR.

Im Hinblick auf die Übereinstimmung beim Endprodukt des Verfahrens, nämlich dem Acetylen, schließt sich der Beitrag von SPANGENBERG an, der chemische Umsetzungen im Plasmastrahl als neues Wirkprinzip diskutiert und die darauf aufbauenden technologischen Lösungen angibt. Die Darstellung geht von physikalisch-chemischen Erkenntnissen an Elementarprozessen aus und leitet daraus Schlußfolgerungen für die technische Gestaltung des Verfahrens ab.

Eine Analyse der optimalen Gestaltung von Stofftrennprozessen, bei denen wiederum der Systemaspekt im Vordergrund steht, ist Gegenstand des Beitrages von HARTMANN und HACKER.

Ihm folgt, gleichsam als Ergänzung in der Wahl der Betrachtungsweise die Arbeit von LINDE und Mitarbeiter über neue Ergebnisse des Stoff- und Energieaustausches an fluiden Phasengrenzen.

In beiden Fällen führen die neuen Erkenntnisse zu einer weiteren Intensivierung der technischen Vorgänge.

Schließlich stellt HEINICKE einige Ergebnisse aus der Untersuchung von Elementarvorgängen bei der mechanischen Aktivierung von Festkörpersystemen vor und leitet daraus die Anwendung für die technische Durchführung von Festkörperreaktionen ab.

Die chemische Technologie wird auch in Zukunft zu den sich dynamisch entwickelnden Wissenschaftsgebieten gehören. Gut fundierte Aussagen über den Einfluß physikalisch-chemischer Elementarvorgänge auf technologische Zusammenhänge werden in Zukunft wesentlich zur weiteren Entwicklung der

Anwendung des Modellbegriffes auf stoffwirtschaftliche Prozesse beitragen. Dabei dürfte mehr als bisher auf die Einbeziehung hydrodynamischer Parameter und auf Transportvorgänge geachtet werden müssen. Die Arbeiten der Systemverfahrenstechnik werden sich verstärkt mit Problemen der Verfügbarkeit von Anlagen, der Zuverlässigkeit, der Verfahrensintegration und der Energieautarkie befassen. Eine kritische Analyse der an sich rationellen integrierten Einstranganlagen zeigt die noch fehlenden Kenntnisse und Erfahrungen auf diesem Gebiet.

Neuentwicklungen von stoffwirtschaftlichen Verfahren, Rationalisierung und Intensivierung bestehender Verfahren werden auch in Zukunft gleichzeitig bearbeitet werden müssen. Der wissenschaftlich fundierten Prozeßanalyse kommt eine steigende Bedeutung zu. In noch stärkerem Maße als bisher muß die chemische Technologie Einfluß auf den chemischen Apparatebau nehmen und Erfahrungen dieses technischen Gebietes für die eigene Arbeit auswerten.

Besondere Schwerpunkte der weiteren Entwicklung der chemischen Technologie dürften sein:

1. Neue technische Lösungen für die Aufbereitung und Verarbeitung von Rohstoffen geringer Qualität und niedrigen Wertstoffgehaltes. Dabei sind Fragen der komplexen Nutzung dieser Rohstoffe zu berücksichtigen.
2. Berücksichtigung der engen Wechselwirkung zwischen stofflichen und energetischen Parametern. Der energetischen Optimierung stoffwirtschaftlicher Verfahren ist noch größere Aufmerksamkeit als bisher zu schenken.
3. Entwicklung von technologischen Lösungen, die entweder gar keine Abprodukte entstehen lassen oder die mit einem Höchstmaß an umweltschützenden Maßnahmen verbunden sind. Bei bereits bestehenden Verfahren ist dem Umweltschutz größte Aufmerksamkeit zu schenken.
4. Die weitere Entwicklung von Verfahren, die aus möglichst wenig, aber spezifisch wirkenden Verfahrensstufen bestehen. Dazu gehört die Entwicklung und der verstärkte Einsatz selektiver Katalysatoren, selektiver Stofftrennprozesse und leistungsfähiger Aufbereitungsstufen.
5. Die Einführung neuer technologischer Lösungen in den gesellschaftlichen Reproduktionsprozeß macht auch eine verstärkte ökonomische Durchdringung der einzelnen Prozeßstufen und des Gesamtverfahrens erforderlich. Unter Anwendung des Variantenvergleiches sind hier verstärkt Bedingungen und Anforderungen der gesellschaftlichen Entwicklung zu berücksichtigen.
6. Die weitere Typisierung technologischer Prozesse mit dem Ziel, ständig wiederkehrende Stufen einheitlich zu gestalten und das rationelle Baukastenprinzip auch in der Gestaltung technischer Verfahren der Stoffwirtschaft einzuführen.

Diesen Anliegen soll auch in Zukunft die vorliegende Reihe dienen. Die Herausgeber und Autoren hoffen, damit nicht nur einen Beitrag zur Erweiterung und Vertiefung der Technologie als Wissenschaft zu leisten, sondern gleichzeitig Voraussetzungen für eine umfassendere Lösung stoffwirtschaftlicher Probleme im gesellschaftlichen Reproduktionsprozeß zu schaffen.

*W. Schirmer
K. Hartmann*

INHALT

Die chemische Technologie — wissenschaftliche Voraussetzung für eine leistungsfähige Stoffwirtschaft

(W. SCHIRMER)

1.	Einleitung	1
2.	Die volkswirtschaftliche Bedeutung der chemischen Technologie und ihre Verflechtung mit anderen Wissenschaftsdisziplinen	3
3.	Wissenschaftliche Grundlagen der chemischen Technologie	5
4.	Die grundsätzlichen Aufgaben der chemischen Technologie in der DDR	10
5.	Literatur	19

Charakterisierung der Stellung der Technologie und ihre Aufgaben zur materiell-technischen Sicherung der Produktionsprozesse in der stoffwandelnden Industrie

(W. FRATZSCHER)

1.	Einleitung	21
2.	Zum Gegenstand und der Methode der Technologie	22
3.	Technologische Aspekte des Verhältnisses von Wissenschaft und Pro- duktion	26
4.	Die strategische Bedeutung der Technologie	33
5.	Zusammenfassende Schlußfolgerungen	39
6.	Literatur	40

Modellierung und Simulation verfahrenstechnischer Systeme — Instrumentarien der modernen Technologie

(K. HARTMANN, L. DIETZSCH)

1.	Einleitung	43
2.	Modellierung der Elemente verfahrenstechnischer Systeme	48
3.	Modellierung der Struktur verfahrenstechnischer Systeme	50
4.	Berechnungsprinzipien verfahrenstechnischer Systeme	54
5.	Algorithmen für die Strukturanalyse verfahrenstechnischer Systeme . . .	57
6.	Iterationsverfahren	59
7.	Berechnungssysteme für verfahrenstechnische Systeme	63
8.	Literatur	73

Analyse und Grundlagen der mathematischen Modellierung und der
Technologie des elektrothermischen Calciumcarbidprozesses

(K. BUDDE, A. STRAUSS)

1.	Einleitung	79
2.	Der Calciumcarbidprozeß	82
2.1.	Aufbau eines Carbidreaktors	82
2.2.	Die Materialbilanz eines Carbidofens	84
2.3.	Die Energiebilanz eines Carbidofens	85
3.	Stand der mathematischen Modellierung von elektrothermischen Reak- toren	86
3.1.	Vorbemerkung	86
3.2.	Bewertung des Standes der Dimensionierung	87
3.3.	Bewertung des Standes der Prozeßmodellierung	87
4.	Formulierung und Begründung einer Modellierungshierarchie für elektrothermische Reaktoren	88
5.	Analyse der Teilprozesse und Aufstellung der Teilmodelle für die ein- zelnen Hierarchieebenen	90
5.1.	Analyse der Calciumcarbidherstellung	90
5.2.	Analyse und Modellierung der Teilprozesse der Hierarchieebene — Chemische Umsetzung und spezifische elektrische Leitfähigkeit	97
5.2.1.	Analyse und Modellierung der Kinetik	97
5.2.2.	Analyse und Modellierung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit	100
5.2.2.1.	Einflußfaktoren auf den spezifischen elektrischen Widerstand des Kokeses.	101
5.2.2.2.	Einflußfaktoren auf den spezifischen elektrischen Widerstand des Kalkes	102
5.2.2.3.	Einflußfaktoren auf den spezifischen elektrischen Widerstand der Reak- tionsmasse	103
5.3.	Analyse und Modellierung der Teilprozesse der Hierarchieebene Vo- lumenelement	103
5.3.1.	Annahmen und Voraussetzungen	103
5.3.2.	Analyse und Modellierung der Teilprozesse in einem Volumenelement der Hauptreaktionszone	105
5.3.3.	Analyse und Modellierung der Stoffänderungsvorgänge in einem Volumen- element der Hauptreaktionszone 1 und 2	106
5.3.4.	Analyse und Modellierung der elektrothermischen Vorgänge in einem Volumenelement der Hauptreaktionszone 1 und 2	109
5.4.	Analyse und Modellierung der Teilprozesse der Hierarchieebene Grund- element	111
5.4.1.	Definition des Grundelementes beim elektrothermischen Carbidprozeß	111
5.4.2.	Modellierung der elektrischen Vorgänge in einem Grundelement ohne che- mische Reaktionen	113
5.4.2.1.	Modellierung der Strom- und Widerstandsverteilung im Grundelement mit Hilfe von elektrischen Ersatzschaltungen	114
5.4.2.2.	Modellierung der elektrischen Teilprozesse in einem Grundelement mit Hilfe der Feldtheorie	118
5.4.3.	Modellierung der chemisch-physikalischen und elektrischen Vorgänge in einem Grundelement.	126
5.4.3.1.	Grundlagen der mathematischen Modellierung	126

5.4.3.2.	Ermittlung der temperaturabhängigen Diffusionskoeffizienten zur Modellierung der Stoffänderungsvorgänge in einem Grundelement	127
5.4.3.3.	Modellierung der Calciumcarbidbildung in einem Grundelement	128
5.5.	Analyse und Modellierung der Teilprozesse der Hierarchieebene Reaktor	132
5.5.1.	Vorbemerkung	132
5.5.2.	Der Berechnungsalgorithmus für elektrothermische Reaktoren.	132
5.5.3.	Anwendung des Berechnungsalgorithmus auf einen großtechnischen Rechteckcarbidofen	136
6.	Zusammenfassung	143
7.	Symbolverzeichnis	144
8.	Literatur	146

Chemische Umsetzungen von Kohlenwasserstoffen im Plasmastrahl

(H.-J. SPANGENBERG)

1.	Einleitung	151
2.	Plasmastrahl und plasmachemischer Reaktor	152
2.1.	Erzeugung des Plasmastrahls	152
2.2.	Der plasmachemische Reaktor	154
3.	Thermodynamische Grundlagen	156
3.1.	Berechnung von Gleichgewichten bei hohen Temperaturen	156
3.2.	Verläufe von Enthalpien und Adiabatenexponenten	159
4.	Physikalisch-chemische Verhältnisse im Plasmastrahl.	164
4.1.	Diagnostik am reaktiven Plasmastrahl	164
5.	Reaktionskinetische Gesichtspunkte	166
6.	Plasmapyrolyse von Kohlenwasserstoffen	169
6.1.	Wasserstoffplasmastrahl	169
6.2.	Stickstoffplasmastrahl	172
7.	Die mathematische Modellierung der Konzentrationsverteilung	174
8.	Vermischungsvorgänge	177
8.1.	Chemische Reaktionen unter Turbulenzbedingungen	177
8.2.	Turbulente Vermischung im Kanal eines plasmachemischen Reaktors	179
9.	Der Quenchvorgang	182
9.1.	Quenchung in Rohren durch Wärmetausch	182
9.2.	Quenchung durch adiabatische Expansion	183
10.	Energieaufwand und Optimierung des Reaktionsablaufes	186
11.	Literatur	190

Heuristische Regeln zum Entwurf verfahrenstechnischer Systeme

(I. HACKER, K. HARTMANN)

1.	Einleitung: Bedeutung, Definitionen, Klassifikation	193
2.	Synthese beliebiger homogener und heterogener verfahrenstechnischer Systeme	196
2.1.	Regeln zur Vorbereitung bzw. Modifizierung der Aufgabenstellung, allgemeine Entwurfsregeln	196
2.2.	Regeln zur Wahl von Parametern	197
2.3.	Regeln zur Modifizierung des erzeugten Systems	198
2.4.	Regeln zur Bewertung des erzeugten Systems	198

3.	Synthese von Wärmeübertragungssystemen (WUES)	200
3.1.	Regeln zur Vorbereitung bzw. Modifizierung von Aufgabenstellungen	200
3.2.	Strukturierende Regeln.	201
3.3.	Verbotsregeln	204
3.4.	Regeln zur Wahl von Ausrüstungen	205
3.5.	Regeln zur Parameterwahl	205
4.	Synthese von homogenen Stofftrennsystemen	206
4.1.	Strukturierende Regeln.	206
4.2.	Regeln zur Wahl der Grundoperation bzw. des Apparatetyps	209
4.3.	Regeln zur Wahl von Parametern	209
4.4.	Regeln zur Bewertung der erzeugten Systeme	211
5.	Synthese von Stofftrennsystemen mit Energieintegration	211
5.1.	Strukturierende Regeln.	211
6.	Literatur	211

Probleme der optimalen Gestaltung von Stofftrennsystemen

(K. HARTMANN, I. HACKER)

1.	Thermische Stofftrennsysteme als Elemente verfahrenstechnischer Systeme	213
2.	Strukturvielfalt bei Kolonnensystemen	216
3.	Überblick über Entwurfsmethoden für Stofftrennsysteme	220
3.1.	Allgemeines	220
3.2.	Dynamische Programmierung	221
3.3.	Strukturparametermethode	223
3.4.	„Branch and bound“-Methode (Zielbaummethode)	224
4.	Heuristische Strukturierung.	225
5.	Anwendung heuristischer Regeln für den Entwurf einer ersten Trennkonzepktion	230
6.	Optimaler Entwurf von Stofftrennsystemen unter Berücksichtigung des Reaktorsystems	234
7.	Nutzung heuristischer Regeln bei der Verbesserung bestehender Stofftrennsysteme	238
8.	Zusammenfassung, Schlußfolgerungen	243
9.	Literatur	244

Beiträge zur Hydrodynamik und zum Stoffaustausch an fluiden Phasengrenzen

(H. LINDE, P. SCHWARTZ, J. REICHENBACH, K. WINKLER)

1.	Einleitung	245
2.	Zum Stoffaustausch an Tropfen oder Blasen mit primärer Oberflächenenerneuerung der Phasengrenze	247
3.	Zur spontanen Oberflächenenerneuerung durch MARANGONI-Instabilität I	273
4.	Zum Stoffaustausch bei blockierter Oberflächenenerneuerung und Möglichkeiten zur Aufhebung dieser Blockierung	288
5.	Zur eigentlichen Grenzflächenturbulenz (MARANGONI-Instabilität III)	292
6.	Symbolverzeichnis	294
7.	Literatur	295

Die Technologie tribochemischer Reaktionen

(G. HEINICKE)

1.	Einführung	297
2.	Grundlagen der Tribochemie	301
2.1.	Tribomechanik	301
2.2.	Tribochemie	305
3.	Zur Technologie tribochemischer Reaktionen	315
4.	Beispiele tribochemischer Verfahren	324
4.1.	Tribochemische Nickelcarbonylsynthese	325
4.2.	Baustoffe aus mechanisch aktivierten Rohstoffen	327
4.3.	Phosphatdüngemittel durch tribochemischen Aufschluß	328
4.4.	Reaktivierung von Katalysatoren durch mechanische Bearbeitung	330
4.5.	Verfahren zur Zementation mit mechanisch aktiviertem Zinkpulver	331
4.6.	Reduktionsreaktionen	333
4.7.	Sinterreaktionen	333
5.	Literatur	335

*) An verschiedenen Stellen des Buches sind noch die Bezeichnungen kcal und atm angegeben; deren Umrechnung auf die seit 1. 1. 1980 verbindlichen Einheiten kJ und Pa lautet:

$$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ atm} = 0,9807 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$