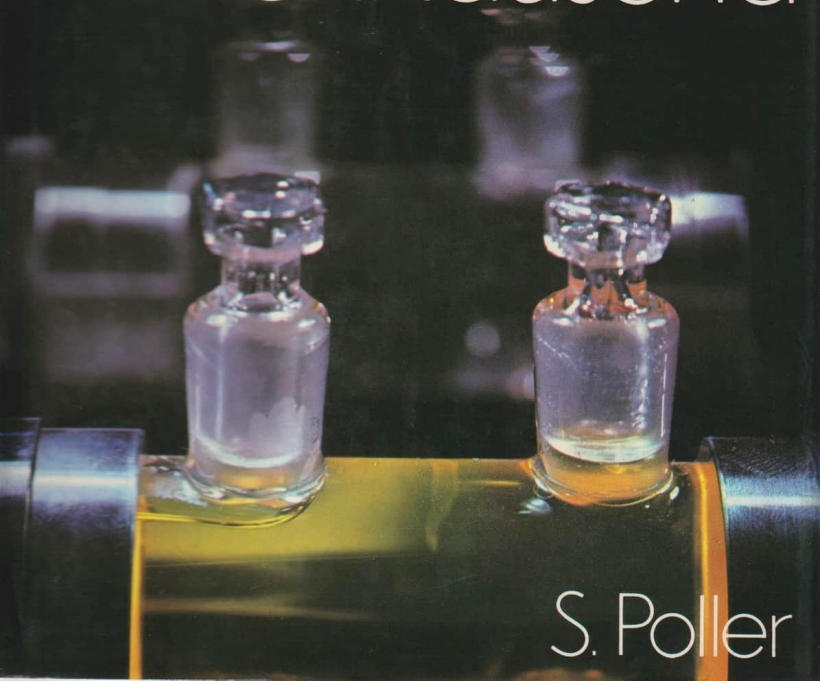
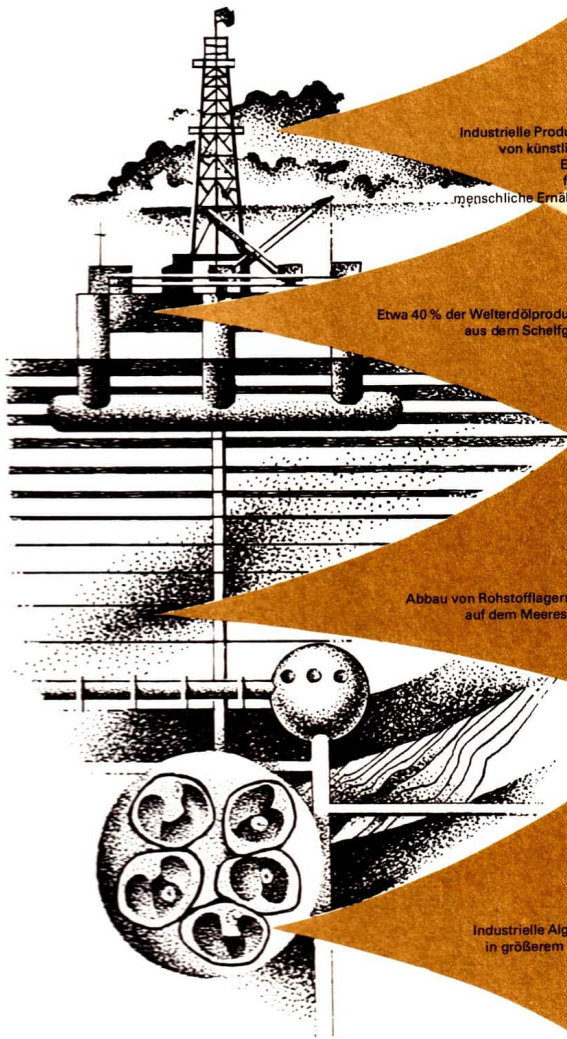


CHEMIE

auf dem Wege
ins dritte
Jahrtausend



S. Poller



Industrielle Produktion
von künstlichem
Eiweiß
für die
menschliche Ernährung

Etwa 40% der Welterdölproduktion
aus dem Schelfgebiet

Abbau von Rohstofflagerstätten
auf dem Meeresboden

Industrielle Algenzucht
in größerem Umfang

Voraussichtlicher Eintritt wiss.-techn. Ereignisse



**Siegfried Poller Chemie
auf dem Wege
ins
dritte Jahrtausend**

**Urania-Verlag
Leipzig · Jena · Berlin**

Fotonachweis

Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR S. 200; VEB Chemieanlagen Erfurt-Rudisleben S. 213; ČTK, Prag S. 157; Curth-Tabbert, Berlin S. 113, 253; H. Dieck, Magdeburg S. 216; VEB Edelstahlwerk 8. Mai 1945 Freital S. 69 oben; V. Hochmann, Brno S. 153; Institut für Ozeanologie, Moskau S. 21; Junge Welt/Zielinski, Berlin S. 143; Kernforschungszentrum Karlsruhe S. 70 oben links; VEB KIB Chemie, Leipzig S. 48; H. Körner, Dresden S. 132; VEB Leuna-Werke »Walter Ulbricht« S. 29; Mezinárodní Strojírenski Velethrá, Brno S. 147; MTI, Budapest S. 139; Müller/Straube, Berlin S. 24, 65, 87, 122, 135, 138, 151, 156, 172, 185, 186 oben, 187 oben und Mitte, 188 beide, 155; NASA, Washington S. 119; Nowosti, Moskau S. 89, 229; B. Paetzold, Dresden S. 96; VEB PCK Schwedt S. 9; VEB Präcitronic Dresden S. 82; W. Schröter, Markkleeberg S. 70 oben rechts, Schutzumschlagfotos; VEB Serumwerk Bernburg S. 209; Prof. W. Vogel, Jena S. 162; Foto-Weber, Leipzig S. 69 unten; W.-D. Wegner, Dresden S. 170; Zentralbild, Berlin alle übrigen Fotos.

1. Aufl. 1979. Alle Rechte vorbehalten.

© Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin,
Verlag für populärwissenschaftliche Literatur,
Leipzig, 1979

VNL 212-475/90/79

LSV 1209

Lektoren: Inge Steinhäuser/Manfred Quaas

Schutzumschlag: Lutz Erich Müller

Zeichnungen: Wolfgang Parschau

Typografie: Helgard Reckziegel

Printed in the German Democratic Republic

Lichtsatz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb

Leipzig — III/18/97

Druck und buchbinderische Verarbeitung:

Sachsensdruck Plauen

Best.-Nr.: 6535190

DDR 13,80 M

Inhalt

Rechnen statt experimentieren! 80
Mehr Elektronik, aber weniger
Laborantinnen... 81
Immer diese Entscheidungen! 85

Neue Verfahren – neue Produkte 88

Wo endet das Periodensystem der Elemente? 88
Tausend Worte Isotopenchemie 92
Strahlenchemie – Möglichkeiten und
Perspektiven 94
Fotochemie auf neuen Wegen 98
Chemielaser und Laserchemie 101
Chemie im vierten Aggregatzustand 104
Reaktionen bei hohen Drücken 106
Immer mehr Edelsteine aus der Retorte 108
Metallatomsynthese, Tribochemie, Hoch-
feldchemie 111
Hat die Elektrosynthese eine Zukunft? 112
Eine chemische Säge 114
Wie geht es weiter mit der Brennstoffzelle? 115
Die Katalysatorchemie ist noch lange nicht
am Ende! 120
Chemie rationalisiert sogar den Haushalt! 123
Waren die Chemiker etwa auch schon im
Kosmos? 128

Perspektiven der Werkstoffchemie 131

Kunststoffe erobern die Welt 131
Für jeden Zweck den passenden Werkstoff 132
Bauen mit Plasten 137
Höher, weiter, schneller! 142
Kommt das Kunststoffauto? 144
Was wird mit dem Gummi? 145
Bekleidung aus der Retorte! 150
Wie lange ist eigentlich Holz noch
modern? 156
Papier in der Zukunft – woraus und wofür? 158
Glas ist ein alter Werkstoff, aber er hat große
Perspektiven! 161
Andere Silikatwerkstoffe und ihre
Verwandten 168
Der Hochofen am Ende des
20. Jahrhunderts 173
Die Werkstoffpalette wird immer breiter 177
Kampf dem Rostteufel! 181
Wer substituiert wen? 184

Die Welt wird chemisiert! 7

Eine Wissenschaft im Aufbruch 7
Chemie behauptet die Spitze! 9
Besser leben durch Chemisierung 12

Am Anfang stehen Rohstoffe und Energie 16

Der Rohstoffverbrauch steigt, die Vorräte
nehmen ab 16
Sorgen bei den Metallen! 18
Probleme mit nichtmetallischen
Rohstoffen? 21
Kohlenstoff ist unentbehrlich! 23
Auch scheinbar »Wertloses« muß verwertet
werden! 33
Keine Chemie ohne Energie! 36
Kampf um Wirkungsgrade und Verluste 38
Energieformen im Wettlauf 41

Wie schaffen weniger Chemiker mehr? 44

Erst die Produktion macht uns reich 44
Ohne Technik geht es nicht! 46
Wie groß ist zu groß? 49
Rationalisieren oder automatisieren? 54
Wie beherrscht man moderne Chemie-
anlagen? 57
Revolution der Computer 61
Prozeßrechentechnik und Chemie gehen
zusammen 62
Der Zeitfonds bleibt, aber die Informations-
flut wächst! 75

Mit der Chemie gegen den Hunger 194

Die Erde wird fruchtbarer 194
Schlüssel zum Luftstickstoff 201
Wir essen nur, was uns die Schädlinge
übriglassen! 203
Chemisierung der Tierproduktion? 208
Das Hauptproblem heißt Eiweiß! 211
Essen macht Spaß... 216
Nahrungsmittel in Pillenform? 218

Wer den Arzt ruft, braucht auch den Chemiker! 219

Noch mehr Tabletten im Jahre 2000? 219
Arzneimittelentwicklung – hohe Schule der
organischen Chemie 222
Chemotherapeutische Zukunftsaspekte 225
Kann die Chemie den Krebs besiegen? 228
Chemikalien zur Regulierung menschlicher
Verhaltensweisen? 231

Strategisches Ziel ist die Steuerung der
Lebensprozesse 234
Geburtenregelung mit Hilfe der Chemie 236
Der Tod wird überlistet werden! 238

Die Chemie im Fadenkreuz der Politik 240

Kann die Chemie den Lauf der Politik beein-
flussen? 240
Wer soll das bezahlen? 241
Chemie monopol, ihre Tradition und
Perspektive 244
Sozialistische Integration eröffnet
neue Horizonte! 250
Was die Chemiker der Zukunft alles können
müssen 258

Sachwörterverzeichnis 264

Die Welt wird chemisiert!

Eine Wissenschaft im Aufbruch

Die Geschichte der Chemie beginnt schon in grauer Vorzeit. Metalle, Glas und die ersten künstlichen Steine wurden in der Asche des vorgeschichtlichen Holzfeuers geboren. Aber den Aufstieg zur Wissenschaft vollbrachte die Chemie erst am Ende des 18. Jahrhunderts. Noch immer hatten die damals bekannten chemischen Technologien wie Gerberei, Brauereiwesen und Eisengewinnung den Charakter von »chemischen Künsten«, die man zwar ohne tiefere Einsicht, aber doch schon mit einer beachtlichen Perfektion betrieb. Der Bedarf an Heilmitteln, Farbstoffen, Nahrung und Kleidung wurde fast ausschließlich aus der Pflanzen- und Tierwelt gedeckt. Als die wachsende Nachfrage auf der Basis dieser Rohstoffe nicht mehr befriedigt werden konnte, bezogen die Chemiker immer mehr auch andere Ausgangsmaterialien wie Kochsalz, Kalkstein, Kohle und Steinkohlenteer in ihre Experimente ein. Trotzdem wurden sie sich der großen Möglichkeiten ihrer Wissenschaft nur allmählich bewußt. Lange Zeit konzentrierten sie ihre Bemühungen ausschließlich auf die Synthese von Naturstoffen. Ihre beeindruckende Erfolgsbilanz auf diesem Gebiet reicht heute vom Ammoniak bis zum Insektenhormon. Aber dennoch: Glas, Eisen, Stahl, Kupfer, Zement, Keramik, Naturfasern – das alles kannte man im Grunde schon bei den alten Griechen. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts kamen als Massenprodukte eigentlich nur noch Zellstoff, Gummi und

Aluminium dazu, und auch damit bewegte man sich in den, wie es schien, für alle Ewigkeit vorgezeichneten Grenzen der Natur.

Mit der Entwicklung der Kunststoffe in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts aber gelang es den Chemikern, diese »Barriere« zu durchbrechen, denn jetzt wurde es auch für den Laien deutlich: Die Chemie verfügt über Potenzen, die das Vorbild der Natur weit zu übertreffen gestatten!

Je umfassender die Entwicklung der Chemie voranschreitet, um so aussichtsreicher werden auch die Chancen für die Synthese selbst der kompliziertesten Naturstoffe. Noch schneller aber wachsen die Möglichkeiten zur Neuschöpfung von Produkten mit bisher völlig ungeahnten, nie dagewesenen Eigenschaften und Eigenschaftskombinationen, von Stoffen, für die es in der Natur überhaupt kein direktes Vorbild gibt!

Die auf der stofflichen Analyse gegründete Fähigkeit zur Synthese gänzlich neuartiger Produkte macht die Chemie zu einer gewaltigen Potenz. Ihre Möglichkeiten zur Umwandlung und Veränderung der Naturstoffe im Interesse des Menschen sind geradezu unerschöpflich. Ohne Unterlaß fließt in die Retorten der Chemiker ein immer größer werdender Strom von Erdöl, Gas, Kohle, Mineralsalzen, Silikaten, Erzen; und am Ende einer mehr oder weniger langen Kette von Stoffwandlungsprozessen verlassen Farben, Lacke, Seifen, Düngemittel, Treibstoffe, Plaste, Synthesefasern, Pflanzenschutzmittel, biologische Wirkstoffe, Arzneimittel und Spezialchemikalien aller Art die Chemiefabriken. Dabei erfährt das Material eine für jedermann offensichtliche Veredelung und Wertsteigerung, die auf der Strecke zwischen Erdöl und speziellen Synthesefaserstoffen bis zum Tausendfachen des Ausgangswertes gehen kann!

Das Tempo der wissenschaftlich-technischen Entwicklung in der Chemie nimmt rasch zu, und kein Land dieser Erde wird davon unberührt bleiben. Um das im Jahre 1854 konzipierte Verfahren der elektrochemischen Aluminiumgewinnung in ein produktionsreifes Verfahren umzusetzen, waren 35 Jahre erforderlich. Dagegen wurden zur großtechnischen Erzeugung von Niederdruckpolyäthylen in der Mitte der 50er Jahre

unseres Jahrhunderts nicht mehr als 4 Jahre benötigt. Im Durchschnitt liegt der notwendige Zeitaufwand für die Umsetzung wichtiger Verfahren aus dem Labormaßstab in die Großproduktion gegenwärtig etwa zwischen 6 und 10 Jahren, aber in Ausnahmefällen sind unter sehr günstigen Bedingungen auch schon 3 Jahre erreicht worden.

Die chemischen Fabriken der Welt produzieren heute zur Hälfte Produkte, die es vor 20 Jahren noch gar nicht gab. In manchen Chemiekombinaten liegt der Anteil dieser Erzeugnisse sogar bei 75 bis 80%! Nach dem nächsten Jahrzehnt werden voraussichtlich mehr als 25% des gesamten Industrieumsatzes auf Erzeugnisse und Verfahren zurückgehen, die zur Zeit noch unbekannt sind, und ein Dezentennium später werden die Chemiefabriken schon wieder ein neues Sortiment von chemischen Produkten ausspucken.

Aber die Entwicklung neuer Chemikalien wird immer kostspieliger. So muß man heute nicht weniger als 4000 Substanzen herstellen, bevor man auch nur einen einzigen produktionswürdigen Arzneimittelwirkstoff findet. Bei Pflanzenschutzmitteln wird diese Ziffer sogar bis auf 10000 geschätzt! In den USA kamen in der jüngeren Vergangenheit auf jedes chemische Produkt, das in die Massenproduktion ging, durchschnittlich 540 theoretische Ausarbeitungen. Daraus wurden 98 Varianten für die Prüfung im Laboratorium und davon wiederum nur 8 für die Versuchsproduktion in Industrieanlagen ausgewählt. Aber trotz dieses riesigen Aufwandes waren nicht mehr als 50% der ausortierten Produkte ein wirtschaftlicher Erfolg. Der allerdings lag so hoch, daß auch die Kosten der verworfenen Erzeugnisentwicklungen ohne Schwierigkeiten mit abgedeckt werden konnten. Noch schneller als der von der Chemie in Wissenschaft und Produktion verursachte Aufwand wächst also ihr gesellschaftlicher Nutzen.

Es ist deshalb kein Wunder, daß in den Industrieländern die für die chemische Forschung und Entwicklung aufgewendeten Mittel heute etwa doppelt so hoch sind wie im Durchschnitt der anderen Wirtschaftszweige. Erfindungen auf dem Gebiet der Chemie machen im Weltmaßstab fast 20% aller erteilten Patente aus. Darin kommt der progres-

sive Charakter dieser Wissenschaft besonders klar zum Ausdruck.

Ohne Zweifel ist die Chemie schon mit vielen Produkten, Verfahren und Konzeptionen auf Bahnen, die geradewegs in die Zukunft führen. Diesen Weg geht sie aber nicht allein. Immer enger verbindet sie sich besonders mit der Physik, der Technik und der Biologie, und an den Nahtstellen der klassischen Wissenschaftsdisziplinen entwickeln sich ergebnisträchtige Spezialgebiete, bei denen die Chemie maßgeblich als »Geburtsheifer« beteiligt ist.

Noch deutlicher ist in der chemischen Industrie die Tendenz zu beobachten, daß sich verschiedene Einzeldisziplinen wechselseitig beeinflussen und durchdringen. Die Entwicklung einer modernen Chemieproduktion erfordert und setzt voraus einen schnellen Aus- und Aufbau des Anlagenbaus, der Elektronik, der Meß-, Steuer- und Regeltechnik, des wissenschaftlichen Gerätebaus sowie der Rohstoff- und Energiewirtschaft. Für alle diese Industriezweige wird die Chemie immer mehr zum Hauptabnehmer, während sie sich gleichzeitig zu ihrem wichtigsten Lieferanten für moderne Werkstoffe sowie produktionsfördernde chemische Methoden und Hilfsmittel aller Art entwickelt. Interdisziplinäre Zusammenarbeit und Spezialisierung – so heißt die Erfolgsformel auch für die Chemie. Es ist deshalb kein Zufall, wenn viele der in diesem Buch aufgezeigten Leistungen nicht nur den Aktivitäten der Chemiker, sondern zugleich auch den Bemühungen von Wissenschaftlern und Technikern aus dem Apparatebau, aus der Physik, aus der Technologie, aus der Mathematik und aus der Biologie zu verdanken sind. Bei allen zukünftigen Entwicklungen wird das noch ausgeprägter der Fall sein.

Nicht zuletzt aus diesem Grunde stellt sich auch die Planung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in der Chemie immer komplexer und komplizierter. Wissenschaftliche Voraussicht wird unter diesen Bedingungen dringend erforderlich. Aber kein Mensch ist in der Lage, die Zukunft zweifelsfrei richtig vorauszusagen. In der Vergangenheit wurde die Prognosearbeit auch in der Chemie oftmals zu formal behandelt. Unrealistisches Herangehen führte zu ebenso interessanten wie unverbindlichen Voraussagen und hat



Moderne Chemiebetriebe werden großzügig und zweckmäßig angelegt. Hier das in den 60er Jahren weitestgehend in Freibauweise entstandene Chemiekombinat Schwedt. Es verarbeitet mit seinen Zweigwerken 80% des in die DDR gelieferten Erdöls und produziert ein Sechstel aller Chemieerzeugnisse unserer Republik.

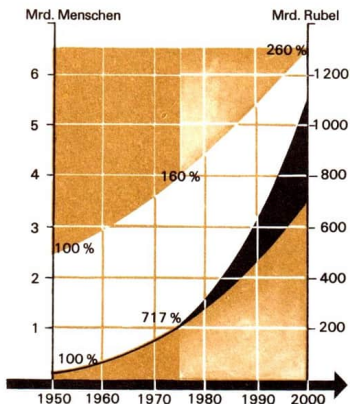
obendrein bewirkt, daß viel zu viele Menschen viel zu viele Ereignisse viel zu früh erwarteten. Tatsächlich vermag jedoch auch die wissenschaftlichste Prognose nicht mehr, als Wahrscheinlichkeitsfelder für das Eintreten dieses oder jenes Ereignisses abzustecken. Dabei wird vorausgesetzt, daß alle zugrundeliegenden Überlegungen und Berechnungen in der Gegenwart wurzeln und mit den Naturgesetzen übereinstimmen. Wissenschaftliche Prognostik muß deshalb im Gegensatz zu marktschreierischem Futurismus darauf beschränkt bleiben, Schlußfolgerungen aus gegebenen Prämissen zu ziehen. Ihre Aufgabe ist erfüllt, wenn sie Entscheidungen auslöst, die über

eine gut durchdachte, lang- und kurzfristige Planung zur harmonischen Gesamtentwicklung des jeweiligen Arbeitsfeldes beitragen. Deshalb geht es bei einer Prognose weniger darum, detaillierte Kennziffern zu postulieren, als vielmehr um die Erfassung von Entwicklungslinien. Zahlen haben in diesem Zusammenhang nur den Charakter von Orientierungsgrößen. Unter diesem Gesichtspunkt sollten auch die in diesem Buch enthaltenen Ziffern zur perspektivischen Entwicklung der Chemie beurteilt werden.

So unsicher aber der weitere Fortschritt im einzelnen auch sein mag, so eindeutig stimmen die Fachleute zumindest in einer Aussage überein, und die lautet:

Chemie behauptet die Spitze!

Die zielstrebige Ausnutzung der chemischen Wissenschaft als Produktivkraft hat in Verbindung mit gesellschaftlichen und sozialen



Zunahme des Chemieumsatzes und der Bevölkerung auf unserem Planeten zwischen 1950 und 2000.

Faktoren in den vergangenen Jahrzehnten zu einem eindrucksvollen Wachstum der chemischen Produktion geführt. Während der gesamte Industrieausstoß der Welt in den letzten 50 bis 60 Jahren etwa auf das 3fache angestiegen ist, erhöhte sich die Chemieproduktion um das 20fache! Von 1961 bis 1970 betrug der durchschnittliche Jahreszuwachs der Weltindustrieproduktion 6,7%, derjenige der Chemie aber 9,4%. In den 70er Jahren soll sich die Chemieproduktion mit einer jährlichen Wachstumsrate von etwa 7% noch ein weiteres Mal verdoppeln. Die dafür erforderlichen Investitionen aber muß man verdreifachen. Westlichen Schätzungen zufolge wird die „Weltchemie“ im Jahre 1980 etwa 34 Mrd. Dollar investieren. Das ist eine Summe, die dem Gesamtumsatz der Chemieindustrie im Jahre 1950 entspricht. In der Zeitspanne zwischen 1975 und 2000 rechnet man mit einer Erweiterung des internationalen Chemieumsatzes auf das 3- bis 8fache. Dies könnte bedeuten, daß die Chemie an der Jahrtausendwende unter allen Industriezweigen den ersten Platz einnehmen wird.

Die hohen Wachstumsraten der chemischen Industrie widerspiegeln eine weltweit sichtbare Entwicklungstendenz, aber zwischen den einzelnen Ländern gibt es krasse Unterschiede. Neben den industriell weit fortgeschrittenen Chemieländern steht eine lange Reihe von Staaten, deren Chemiepotential als Folge jahrzehntelanger kapitalistischer Unterdrückung entweder gleich Null oder doch nur wenig davon entfernt ist. Nach der Bruttoproduktionsleistung der chemischen Industrie hat sich derzeit unter den Industrienationen etwa die folgende Reihung herausgebildet: USA, UdSSR, Großbritannien, BRD, Frankreich, Japan. Die DDR folgt an siebenter Stelle in der Weltrangliste. Vergleicht man aber die Pro-Kopf-Erzeugung, so belegt sie nach den USA den zweiten Platz.

In dem mit einem Weltanteil von etwa 30% derzeit noch größten Chemieland der Erde, nämlich in den USA, hatte die chemische Industrie in den 60er Jahren ein durchschnittliches jährliches Wachstumstempo von immerhin 6%. Die Hoffnung, eine derartige Zuwachsrates auch weiterhin halten zu können, erlitt Anfang der 70er Jahre wegen der einschneidenden Wirtschaftskrise in den kapitalistischen Ländern einen empfindlichen Rückschlag. Das Wachstum der Chemieproduktion sank zeitweise stark ab!

Im Gegensatz dazu wird das durchschnittliche Entwicklungstempo der sowjetischen Chemieindustrie mit jährlichen Zuwachsraten von über 10% auch in der Zukunft dasjenige der USA weit übertreffen. Die chemische Industrie der UdSSR produzierte im Jahre 1970 27mal soviel wie 1950. Bis 1975 erhöhte sich die Produktion gegenüber 1970 um weitere 70% bei einem Wachstum der allgemeinen Industriekapazität um 47%. Auch in den nächsten 15 bis 20 Jahren werden die Zuwachsraten der sowjetischen Chemie im Vergleich zur gesamten Industrie stets um das 1,5- bis 1,7fache höher sein.

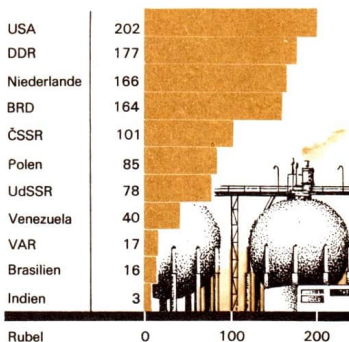
Als eine Chemiegroßmacht, die vor 30 Jahren noch ziemlich unbedeutend war, verdient Japan Erwähnung. In diesem Land nahm in den 60er Jahren die Chemieproduktion jährlich um 13 bis 19% zu! Dann aber geriet es ebenso gesetzmäßig wie die anderen kapitalistischen Industrieländer in den Krisenstrudel der 70er Jahre. Gegenwärtig ist das In-

selreich mit etwa 8% an der Weltchemieproduktion beteiligt.

Auch die DDR gehört zu den großen Chemieländern der Welt. Die durchschnittliche jährliche Steigerungsrate der chemischen Industrie lag hier in den letzten 20 Jahren bei etwa 7%, in der Zeit von 1970 bis 1975 bei 8 bis 8,5%. Zwischen 1950 und 1975 erhöhte sich ihre Produktion ungefähr um das 10fache. In den 70er Jahren ist ein jährliches Wachstum zwischen 8 und 10% vorgesehen. Der Grundfonds unserer Chemiefabriken wuchs im letzten Jahrzehnt doppelt so schnell wie in der gesamten Industrie. Unsere Chemiekapazitäten – zu etwa 40% auf den Bezirk Halle konzentriert – bestreiten 16% der industriellen Warenproduktion unseres Landes. Damit übertreffen sie alle anderen Industriezweige nicht nur im Inland, sondern auch die Schwestereinrichtungen sämtlicher anderer Staaten, deren Chemieanteil am gesellschaftlichen Gesamtprodukt meist kleiner als 10% ist.

Abgesehen von der Sowjetunion waren die Ausgangspositionen für die Entwicklung der chemischen Industrie in den RGW-Ländern bezüglich Tradition und Produktionserfahrung wesentlich ungünstiger als in der DDR. Um so bemerkenswerter sind die in den letzten Jahrzehnten erzielten Fortschritte. So stieg z. B. die Chemieproduktion der Volksrepublik Bulgarien zwischen 1951 und 1971 um das 46fache und die Polens um das 17fache! Die jährlichen Zuwachsraten zwischen 1971 und 1975 lagen bei 24 bzw. 19%! Diese Leistungen erscheinen besonders dann im richtigen Lichte, wenn man sich bewußt macht, welch minimale Fortschritte demgegenüber die kapitalistischen Länder mit vergleichbaren Ausgangsbedingungen erzielt haben.

Die chemische Produktion der RGW-Staaten insgesamt erhöhte sich zwischen 1951 und 1971 um das 12fache. Sie wuchs in den letzten 25 Jahren etwa doppelt so schnell wie die Produktion der gesamten Industrie. Der durchschnittliche jährliche Zuwachs zwischen 1970 und 1975 lag bei 11,5%. Gegenwärtig hat die Chemieindustrie der RGW-Länder einen Anteil von 10% an der industriellen Gesamtproduktion erreicht. Angestrebt werden etwa 20%. Die sozialistische Staatengemeinschaft produziert jetzt ungefähr ein Viertel aller auf unserem Erdball verbrauchten chemischen

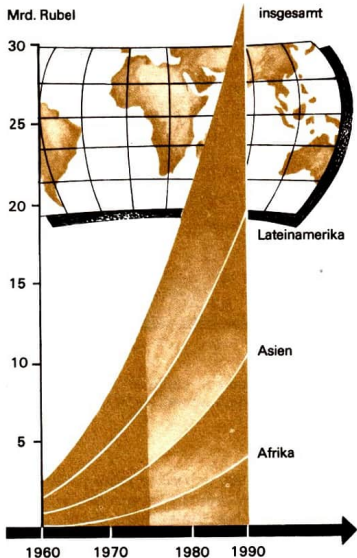


Wert der Chemieproduktion pro Kopf der Bevölkerung in Rubeln für ausgewählte Länder (1970).

Erzeugnisse. 1980 sollen für nahezu 100 Mrd. Rubel Chemieprodukte hergestellt werden. Das wären 9- bis 10mal mehr als im Jahre 1960! Es ist sicher, daß die immer enger werdende Zusammenarbeit der sozialistischen Länder auch weiterhin allen Partnern ein schnelles und stabiles Wachstum der Chemieproduktion ermöglichen wird.

Die Entwicklungsländer, in denen etwa zwei Drittel der Erdbevölkerung leben, vereinigten Mitte der 70er Jahre nur etwa 7 bis 8% der Weltchemieproduktion auf sich. Andererseits beweist ein Anteil von 26% am Weltchemiehandel, daß chemische Produkte aller Art, insbesondere Düngestoffe und Pflanzenschutzmittel, für den Aufbau der unterentwickelten Wirtschaften von großer Bedeutung sind. Deswegen beginnen viele dieser Staaten, sich verstärkt um den Aus- und Aufbau einer eigenen chemischen Industrie zu bemühen. So hat die Republik Indien beschlossen, die organische Chemie stärker zu entwickeln, und in der afrikanischen Republik Benin (Dahome) wurden 1972 die ersten Chemiebetriebe überhaupt geplant.

Aber die erfolgreiche Entwicklung der Chemie in Wissenschaft und Produktion erfordert gleichzeitig auch den Ausbau anderer



Entwicklung der Chemieproduktion in den jungen Nationalstaaten seit 1960 mit Prognoseversuch.

Fachdisziplinen und Industriezweige. Mehr noch, sie setzt ihn sogar voraus. Dies übersteigt jedoch die Möglichkeiten der Entwicklungsländer gegenwärtig um ein Vielfaches. Eine beschleunigte Entfaltung der Chemie in den wirtschaftlich gering entwickelten Gebieten unseres Planeten kann deshalb nur mit einer starken Unterstützung durch die industriell fortgeschrittenen Länder erreicht werden. Dann aber wird die überall bekannte wirtschaftskatalysierende und -stimulierende Wirkung der Chemie nicht nur die Industrie rasch wachsen lassen, sondern auch die Landwirtschaft und das Gesundheitswesen. Mit anderen Worten heißt das: Eine vorrangige Entwicklung der Chemie mit Hilfe der Industriestaaten würde in den betreffenden Ländern eine schnellere Hebung des Lebensstandards zur Folge haben.

Die Realisierung eines solchen Weges ist jedoch keine Frage des wissenschaftlich-technischen Fortschritts mehr, sondern ein Problem der Politik. So kommt es nicht schlechthin darauf an, diese Länder ökonomisch zu unterstützen, sondern ihre Stellung im System der internationalen Arbeitsteilung durch eine systematische Industrialisierung zu verändern. Demgegenüber ist die als Entwicklungshilfe getarnte Politik der imperialistischen Staaten darauf gerichtet, die Abhängigkeit der Entwicklungsländer als Absatz- und Rohstoffanhängsel ihrer eigenen Wirtschaften auch für die Zukunft zu sichern. Die ökonomische Hilfeleistung wird dabei nicht selten als politisches Druckmittel benutzt. Unter diesen Bedingungen kommt dem Beitrag der sozialistischen Staaten besondere Bedeutung zu. Sie unterstützen die Entwicklungsländer zu äußerst günstigen Bedingungen auf der Basis der Gleichberechtigung und gegenseitigen Achtung. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit wurden und werden von den RGW-Staaten neben Hüttenkombinaten, Maschinenbaubetrieben und anderen Industrieobjekten auch zahlreiche chemische Werke errichtet.

Trotzdem werden die Entwicklungsländer ihren Anteil an der Weltchemie bis zum Jahre 1980 nur auf etwa 9% erhöhen können. Der Hauptzuwachs an chemischer Produktion und erst recht an chemischen Erkenntnissen wird auch bis zur Jahrtausendwende noch aus den industriell fortgeschrittenen Ländern kommen. Dessenungeachtet werden sich nach und nach immer mehr Länder an der Weltchemieproduktion beteiligen. Diese Entwicklung ist mit allen Kräften zu fördern, denn nicht nur für Industriestaaten gilt die Devise:

Besser leben durch Chemisierung!

Wohl niemand wird heute bestreiten, daß die Erzeugnisse und Verfahren der Chemie das Gesicht unserer Welt in entscheidendem Maße mitgeprägt haben. Ihr Beitrag zur Befriedigung der Grundbedürfnisse des Menschen und zur Hebung des Lebensniveaus war in den vergangenen Jahrzehnten gewaltig. Alle Bereiche des menschlichen Lebens, Nahrung und Gesundheit ebenso wie Klei-

derung, Wohnung und Bauen im weitesten Sinne, wurden davon beeinflusst. Selbst manche bahnbrechenden physikalischen Effekte, wie beispielsweise dynamoelektrisches Prinzip, Rundfunk und Fernsehen, Magnetbandspeicherung und Laserstrahl, bei denen zunächst kein Mensch an Chemie denkt, konnten nur durch erfolgreiche Vorarbeiten der Chemiker zur Bereitstellung der dafür benötigten Werkstoffe technisch realisiert werden. Heute jedenfalls sind die Erzeugnisse der chemischen Produktion nahezu allgegenwärtig. Sie begegnen uns in jedem Haushalt und auf den entlegensten Müllplätzen dieser Erde. Anfang der 70er Jahre benutzte der Durchschnittsbürger eines Industriestaates im täglichen Leben nicht weniger als 300 bis 500 chemische Produkte. Davon entfielen unter anderem etwa 60 auf den Textilsektor, rund 200 auf den Lebensbereich Heim, Arbeitsplatz, Freizeit, zirka 50 auf Medikamente und ebensoviele auf die Nahrungsmittelproduktion und -zubereitung. Im einzelnen sind aber an der Gestaltung unserer modernen Zivilisationsutensilien noch weit mehr chemische Verbindungen beteiligt. So werden allein für die Herstellung von Lebensmitteln fast 900 verschiedene Einzelchemikalien verwendet. Insgesamt stehen heute für alle nur denkbaren Zwecke der materiellen Produktion und der persönlichen Bedürfnisbefriedigung nicht weniger als eine runde Million industriell erzeugter Chemikalien zur Verfügung. Die Gesamtzahl der bekannten chemischen Verbindungen ist dagegen auf nahezu 4,5 Millionen (darunter etwa 60 000 anorganische Stoffe) zu schätzen. Dabei werden in den Chemielaboratorien der Welt noch immer jeden Tag rund 200 neue chemische Verbindungen hergestellt!

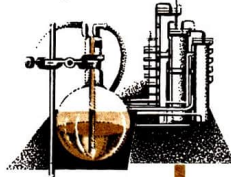
Die Erzeugnisse der Chemie und darüber hinaus auch chemische Prozesse sind heute nicht mehr nur für die Chemieindustrie charakteristisch, sondern ebenso auch für zahlreiche andere stoffwandelnde Wirtschaftszweige, z.B. für die Glas- und Keramikindustrie, für die Zellstoff- und Papierindustrie, für die Metallurgie und nicht zuletzt für die Baustoff- und Nahrungsmittelindustrie. In einigen Fällen verwischen sich die Grenzen zwischen Chemieindustrie und den benachbarten Zweigen immer mehr. Die sogenannte „che-

misches Industrie“ faßt also nur ganz bestimmte Teile der wesentlich umfangreicheren und weiterverzweigten Chemieproduktion zusammen. Zahl und Art dieser Teile sind durch die historische Entwicklung und das Gesamtvolumen der jeweiligen Volkswirtschaften bestimmt. Trotzdem ist immer nur das Ergebnis der chemischen Industrie gemeint, wenn in der Literatur und auch in diesem Buch ohne zusätzliche Erläuterungen von Chemieproduktion gesprochen wird.

Chemische Prozesse lassen sich relativ leicht automatisieren und optimieren. Sie erfordern im Durchschnitt einen viel geringeren Aufwand an gesellschaftlicher Arbeit als andere Verfahren und zeichnen sich deshalb auch durch eine hohe Arbeitsproduktivität aus. So läßt sich z. B. Polyestergewebe mit nur einem Siebentel der Kosten herstellen, die z. B. für die Schafwollerzeugung erforderlich sind. Es ist deshalb verständlich, wenn überall versucht wird, die hohe Produktivität chemischer Prozesse auch für »chemiefremde« Industriezweige nutzbar zu machen. Hervorragende Beispiele dieser Art sind die Lebensmittelkonservierung, das Kleben von Metallen, die elektrochemische Metallbearbeitung und der Korrosionsschutz.

Die äußerst vielschichtige und komplizierte Verflechtung der chemischen Industrie mit fast allen Zweigen der Volkswirtschaft ist ein weltweit sichtbares Hauptkennzeichen der modernen Chemie. Zur Bezeichnung dieses Tatbestandes hat man den Ausdruck »Chemisierung« geprägt. Neben der fortschreitenden Automatisierung und dem Vordringen der Kernenergie ist die Chemisierung wohl das charakteristischste Merkmal der wissenschaftlich-technischen Revolution. Sie schließt die Versorgung der Bevölkerung mit industriellen Konsumgütern ebenso ein wie die Bereitstellung von Werk- und Wirkstoffen sowie von neuzeitlichen Technologien für Industrie, Landwirtschaft und Gesundheitswesen. Die Chemie wird deshalb in zunehmendem Maße als Entwicklungsbeschleuniger auch für andere Wirtschaftszweige wirksam werden. Sie bestimmt maßgeblich das Tempo des wissenschaftlich-technischen Fortschritts auf allen entscheidenden Gebieten der materiellen Produktion und darüber hinaus auch in sämtlichen anderen Sphären

Chemisierung durch Ausbreitung der Chemie



in allen wichtigen Teilen der Volkswirtschaft

Chemieindustrie
Textilindustrie
Zellstoff- u. Papierindustrie
Leichtindustrie
Glas- u. Keramikindustrie
Materialwirtschaft
Bauwesen
Energiewirtschaft
Bergbau
Metallurgie



Maschinen- u. Apparatebau
Elektrik – Elektronik
Verkehrswesen
Militärwesen
Land- u. Forstwirtschaft
Nahrungsgüterwirtschaft
Umweltschutz
Gesundheitswesen
Haushaltswirtschaft
Informationswesen

mit volkswirtschaftlichen Effekten

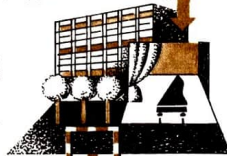
Erhöhung der Arbeits-
produktivität
Materialökonomie
Verbesserung der
Volksgesundheit



Verbesserung der Arbeits-
und Lebensbedingungen
Rationalisierung
geistiger Prozesse

zur Befriedigung gesellschaftlicher und persönlicher Bedürfnisse

Arbeit
Gesundheit
Ernährung
Bekleidung



Wohnung
Kultur
Erziehung
Umwelt
Verteidigung

und Rückwirkung über Aus- und Weiterbildung



Das System der Chemisierung
berührt alle Teile der Volks-
wirtschaft.

der Volkswirtschaft. Deshalb werden an die weitere Entwicklung der Chemie als Wissenschaft und Produktion überall hohe Erwartungen geknüpft.

Es gibt gar keinen Zweifel: Wenn wir die 6,5 Mrd. Menschen, die im Jahre 2000 unseren Planeten voraussichtlich bevölkern werden, ausreichend ernähren, bekleiden, unterbringen, erziehen und informieren wollen, dann kann das nur bei maßgeblicher Mitwirkung der Chemie geschehen. Die Chemiker und alle mit ihnen verbündeten Wissenschaftler tragen deshalb eine besonders hohe Verantwortung dafür, wie die Welt im Jahre 2000

aussehen wird, denn Fortschritte auf dem Gebiete der Chemisierung, verbunden mit einer progressiven gesellschaftlichen Entwicklung, werden auch Fortschritte auf dem Wege zum Kommunismus sein!

Ohne Zweifel hat die Chemie in der Vergangenheit große Leistungen vollbracht. Aber im Vergleich zu dem, was sie uns in der Zukunft noch bringen wird, ist alle bisherige Entwicklung nicht mehr als eine Vorgeschichte. Nein, es kann nicht den geringsten Zweifel geben: Unsere sozialistische Welt von morgen wird zugleich auch eine chemisierte Welt sein!

Am Anfang stehen Rohstoffe und Energie

Der Rohstoffverbrauch steigt, die Vorräte nehmen ab

Das wichtigste Kennzeichen jeder chemischen Produktion ist die wertsteigernde Umwandlung von Rohstoffen in andere Substanzen. Ausgangspunkt für jede derartige Stoffwandlung sind die Naturressourcen.

Bei dem heute erreichten Entwicklungsstand wird buchstäblich alles zum Rohstoff, was uns in der Natur umgibt. Etwa seit 1960 ist das Produkt aus Pro-Kopf-Produktion und Erdbevölkerung jährlich um 6% gewachsen. Innerhalb von 11 Jahren hat sich der Materialbedarf auf unserem Erdball verdoppelt. Aber der Verbrauch steigt mit zunehmender Bevölkerungszahl und fortschreitender Industrialisierung exponentiell weiter an. Wie lange noch werden die Schatzkammern unseres Planeten einer solchen Belastung standhalten können?

Der von den Menschen bis auf weiteres potentiell ausnutzbare Erdbereich (Atmosphäre sowie obere Schichten der Erdkruste einschließlich Hydrosphäre und Biosphäre) ist relativ klein. Die bergmännisch zugängliche Oberschicht reicht gegenwärtig kaum tiefer als 1 km, und nur in Ausnahmefällen werden 2 km erreicht. Dennoch enthält die 1 km »dünne« Oberschicht der Erdkugel nicht weniger als 20 000 Billionen t Eisen, 40 Billionen t Kupfer, 48 Billionen t Zink und 7,2 Billionen t Blei, um hier nur einige Beispiele zu nennen. Die eigentliche Erdrinde ist aber 16 km dick, obwohl sie nur $\frac{1}{418}$ des gesamten

Erdvolumens ausmacht. Nicht weniger als 98,6% dieser Schicht werden von 8 Elementen (Sauerstoff, Silizium, Aluminium, Eisen, Kalzium, Natrium, Kalium, Magnesium) gebildet. Alle anderen Grundstoffe zusammen genommen sind lediglich mit 1,4% beteiligt. Bunt- und seltene Metalle machen oft bloß $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ oder sogar nur $\frac{1}{10\,000}$ % aus. Trotzdem ist der Vorrat an allen wichtigen Elementen in der Erdkruste so ungeheuer groß, daß es dafür keinerlei anschauliche Vergleichsmaßstäbe gibt.

Aber die imposanten Zahlen täuschen leicht darüber hinweg, daß der durchschnittliche Gehalt eines Elementes in der Erdrinde meist viel zu niedrig ist, um einen rentablen Abbau zu ermöglichen. Nach wie vor sind wir deshalb auf die Ausnutzung von Lagerstätten mit angereicherten Elementgehalten angewiesen. Leider sind diese Schatzkammern nur sehr dünn und ungleichmäßig über den Erdball verteilt. Fast kein Land der Erde ist daher bezüglich aller Rohstoffe autark. Eine besondere Stellung hat lediglich die Sowjetunion inne, denn sie verfügt tatsächlich über nahezu alle wichtigen Rohstoffe im eigenen Lande. So nimmt sie bei den Vorräten an Blei, Eisen, Mangan, Chrom und Platin den ersten, bei Gold, Kupfer, Zink, Nickel, Titan, Wolfram und Kadmium den zweiten Platz in der Welt ein.

Im Gegensatz dazu sind fast alle anderen Industrieländer in wachsendem Grade auf Rohstoffeinfuhren angewiesen. Die USA z. B. importieren bereits ein Drittel ihres Bedarfs an Mangan, Chrom, Kobalt, Zinn sowie 90% der Aluminiumgrundstoffe. Außerdem werden steigende Mengen an Blei, Zink und Wolfram eingeführt. Die Abhängigkeit von ausländischem Erdöl, Eisenerz und Kupfer nimmt ständig zu. Noch viel ungünstiger ist die Rohstofflage in den anderen kapitalistischen Industriestaaten. Nimmt man dazu noch die wirtschaftliche Zerrissenheit der imperialistischen Länder, so resultiert aus dieser Situation für die sozialistische Staatengemeinschaft eine außerordentlich starke Zukunftsposition.

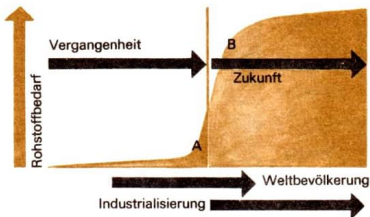
Trotzdem muß festgestellt werden, daß die mit den derzeitigen technischen Mitteln ökonomisch gewinnbaren Rohstoffe in allen Teilen der Welt mehr oder weniger bedrohlich abnehmen. Daraus schließen manche Kom-

mentatoren, daß der immer schneller vorwärtsrollende Weltwirtschaftsexpreß bald schon in einem Abgrund landen wird. In der Tat, die Potentiale von Mutter Erde sind zwar sehr groß, aber sie sind begrenzt, und deshalb kann sich die Menschheit auf unserem Planeten auch nicht in althergebrachter Weise auf längere Zeit weiterentwickeln. Andererseits lassen sich die in der Natur vorkommenden Grundstoffe selbst bei noch so intensiver Ausbeutung nicht vernichten, sondern nur in andere Verbindungen überführen. Die Elementreserven der Erde sind also konstant. Was in raschem Tempo abnimmt, sind nicht die natürlichen Ressourcen schlechthin, sondern diejenigen Anteile des Naturpotentials, die mit den bisherigen Methoden ökonomisch erschlossen werden können.

Als im 17. und 18. Jahrhundert die damals als Pottascherohstoff zur Erzeugung von Glas dienenden französischen Wälder verwüstet wurden, sagte man der aufstrebenden Glasindustrie unüberwindbare Krisen und sogar den baldigen Untergang Frankreichs voraus. Mitnichten – der Mangel wurde durch Leblanc (Sodaprozeß 1789) rechtzeitig beseitigt. Die »Währung«, in der dafür gezahlt werden mußte, hieß Energie. Nicht anders wird es auch morgen in jeder ähnlichen Situation sein, nur werden die Kosten für die Lösung solcher Probleme progressiv ansteigen.

Etwa bis 1971/72 verlief die Grundtendenz der internationalen Preisbewegung im wesentlichen zugunsten der industriellen Fertigwaren. Gleichzeitig wurden die Entwicklungsländer von den imperialistischen Staaten gezwungen, ihre Rohstoffe (insbesondere Öl und Gas) für Spottpreise zu verkaufen. Die riesigen Extraprofiten und das rasche Wirtschaftswachstum der kapitalistischen Industrieländer in den 60er Jahren gingen zu einem wesentlichen Teil auf die skrupellose Ausnutzung der auf diese Weise entstandenen Preisschere zurück.

1972/73 kam es zu einem spektakulären Bergbruch in dieser ungerechten Wirtschaftslandschaft. Die Statistiker registrierten eine nie dagewesene Preisexplosion für Roh- und Brennstoffe. Setzen wir die Preise im Jahre 1970 gleich 100, so war im II. Quartal 1974 ein Index von 270 und speziell für mineralische Rohstoffe sogar von 424 erreicht. Im Vergleich

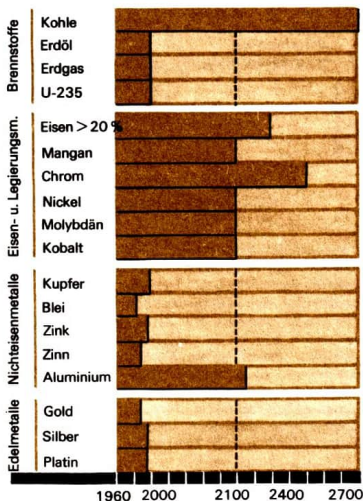


Tendenzielle Entwicklung des Rohstoffbedarfs der Menschheit (A = Beginn der wissenschaftlich-technischen Revolution, B = Bevölkerung auf gleichbleibendes Niveau einpendelnd).

Die starke Zunahme des Rohstoffbedarfs wird so lange anhalten, bis die gesamte Menschheit auf ein ungefähr gleich hohes Entwicklungsniveau gebracht worden ist. Danach ist bei annähernd konstanter Erdbevölkerung in einer Epoche großer wissenschaftlich-technischer Fortschritte mit einer vergleichsweise nur noch langsam zunehmenden Rohstoffherzeugung zu rechnen.

zu den Jahren 1952 bis 1956 kletterte der internationale Preisindex im November 1974 beim Erdöl von 100 auf 484, bei Kohle und Koks von 100 auf 395, beim Holz von 100 auf 330 und bei Eisen und Stahl von 100 auf 270! Zwar zog das größte Unwetter noch in der ersten Hälfte der 70er Jahre wieder ab, aber danach war ein völlig neues Preisniveau mit veränderter Struktur und immer noch steigender Tendenz entstanden. Darin widerspiegeln sich jedoch nicht mehr nur Konjunkturschwankungen auf dem kapitalistischen Markt, sondern auch objektive Tendenzen, wie z. B. die gestiegenen Aufwendungen für die Rohstoffgewinnung. Den Entwicklungsländern aber war es auf Grund der veränderten internationalen Kräfteverhältnisse zum ersten Male gelungen, eine Korrektur der bisherigen Unterbewertung ihrer Rohstofflieferungen zu erzwingen. Nicht zuletzt deshalb kann man heute wohl sagen: Die Zeit der billigen Rohstoffe ist vorbei!

Natürlich ergeben sich daraus auch Konsequenzen für die sozialistischen Staaten, denn die RGW-Länder entwickeln sich nicht isoliert vom Weltmarkt, und auch die DDR ist keine Insel, die von den internationalen Tendenzen



Ungefähre Nutzungsdauer einiger wichtiger mineralischer Rohstoffe nach verschiedenen Schätzungen, berechnet auf Basis der in der ersten Hälfte der 70er Jahre wirtschaftlich erschließbaren Vorräte und der entsprechenden Verbrauchszahlen. Die Weiterentwicklung der geologischen Forschung, die künftigen Fortschritte der Erschließungs- und Aufbereitungstechnik sowie die zunehmende Rückführung verbrauchter Rohstoffe sind nicht berücksichtigt. Deshalb werden die wichtigsten Rohstoffe trotz steigenden Verbrauchs und erhöhter Aufwendungen auch weiterhin zur Verfügung stehen.

verschont bleibt. Demzufolge werden wir zukünftig für die gleichen Rohstoffimporte einen größeren Teil unseres Nationaleinkommens aufbringen müssen als noch wenige Jahre zuvor. So gesehen muß die Konstanthaltung der Verbraucherpreise in unserem Land als eine großartige Leistung der sozialistischen Gesellschaft gewertet werden.

Über 80% der globalen Roh- und Brennstoffproduktion werden gegenwärtig von nur einem Drittel der Weltbevölkerung ver-

braucht. Trotzdem wird der Rohstoffbedarf nicht etwa nur in den nachholebedürftigen Entwicklungsländern, sondern auch in den Industriestaaten sehr schnell weiter ansteigen. Um den zunehmenden Bedarf sichern zu können, muß die Suche nach Möglichkeiten zur Erschließung neuer Rohstoffreserven ständig forciert werden. Geeignete Wege dazu sind

- die Einbeziehung bislang nicht berücksichtigter Gebiete der Erdkruste einschließlich der im Meerwasser vorhandenen Rohstoffe,
- der Übergang zur Ausbeutung ärmerer Lagerstätten,
- die Wiederverwendung von Resten, Abfällen und verbrauchtem Material,
- die Substitution, das heißt der werkstoffgerechte Ersatz von Mangelrohstoffen durch verfügbare Materialien.

Große Hoffnungen werden auf die bisher nicht oder nur wenig in die geologische Erkundung einbezogenen Teile der Erdoberfläche gesetzt. Namentlich aus den Schelfgebieten, den vom Meerwasser bedeckten Kontinentalrändern bis etwa 200 m Tiefe, die insgesamt fast dreieinhalbmal so groß wie Asien sind, werden immer mehr Rohstoffe gewonnen. Die gesamte jährliche Rohstoffförderung aus den Weltmeeren hatte Anfang der 70er Jahre bereits einen Wert von mehr als 6 Mrd. Rubeln, und bis zur Jahrtausendwende hofft man sogar ein Volumen von nicht weniger als 40 bis 50 Mrd. Rubeln erreichen zu können.

Überall wo von Rohstoffproblemen die Rede ist, gibt es bald schon einen besonderen Angelpunkt, und der heißt:

Sorgen bei den Metallen!

Obwohl die meisten Metalle in praktisch unerschöpflichen Mengen vorhanden sind, ist ihr Anteil in Form von derzeit wirtschaftlich verwertbaren Vorkommen recht begrenzt, und in vielen Fällen droht sogar eine Erschöpfung dieser Lagerstätten.

US-amerikanische Berechnungen ergaben, daß insbesondere bei den Elementen Blei, Kupfer, Gold, Zink, Zinn, Silber und Uran vermutlich noch in diesem Jahrhundert die mit den Maßstäben von heute wirtschaftlich

abzubauenen Vorkommen zu Ende gehen werden. In der Mitte des nächsten Jahrhunderts wird man jedoch aus derzeit bekannten Lagerstätten auf alle Fälle noch Kohle, Eisen, Mangan, Chrom, Nickel, Molybdän, Kobalt und Aluminium in ausreichenden Mengen zur Verfügung haben.

Die Frage, ob 6,5 Mrd. Menschen (das ist die voraussichtliche Erdbevölkerung im Jahre 2000) in bezug auf die Metalle den heutigen Lebensstandard der entwickelten Länder werden erreichen können, wird von amerikanischen Autoren verneint, weil dazu 50 bis 60 Mrd. t Eisen, 1 Mrd. t Blei, 600 Mill. t Zink und 80 Mill. t Zinn, mit anderen Worten das 100- bis 400fache der derzeitigen Weltproduktion, in Umlauf zu bringen wären. Dabei sind Oxydations- und Reibungsverluste noch gar nicht berücksichtigt. Bei einigen Metallen (z. B. Blei, Kupfer, Zink) liegen selbst die wirtschaftlich nutzbaren Gesamtvorräte niedriger als die erforderlichen Mengen.

Betrachten wir die Lage bei einigen Elementen etwas genauer:

Das unentbehrlichste und wichtigste aller Metalle ist das Eisen. Es ist das vierthäufigste Element auf unserer Erde und kommt insgesamt in Dutzenden von Billionen Tonnen vor. Die zuverlässig bekannten und nutzbaren Weltvorräte an Eisenerz liegen dagegen »nur« bei 100 Mrd. t. Über riesige Lagerstätten verfügen besonders die UdSSR (rund 40% aller Eisenerze), Australien, USA, Kanada und Brasilien. Im Bereich der Kursker Magnetanomalie lagern auf einer Fläche von der doppelten Größe der DDR nicht weniger als 30 Mrd. t Eisenerz, also fast ein Drittel der Weltvorräte. Die weitere Erschließung dieser riesigen Lagerstätte wird von den RGW-Staaten gemeinsam betrieben.

Von den bei einer Elementhäufigkeit um 0,01% insgesamt vorhandenen $2,28 \cdot 10^{15}$ t Kupfer lassen sich aus bekannten Erzvorkommen 210 bis 250 Mill. t, insgesamt aber nicht mehr als 1 bis 2 Mrd. t gewinnen. Das jedoch ist für die Zukunft zuwenig. Den für die Jahrtausendwende geschätzten Bedarf von jährlich zirka 50 Mill. t über Jahrhunderte hinweg aufrechtzuerhalten, wäre unmöglich. Rund 37% der bekannten Weltkupfervorkommen liegen übrigens in Chile. Aus diesen Lagerstätten haben die amerikanischen Kupferkon-

zerne in den vergangenen 60 Jahren ebensoviel Profit herausgepreßt wie das gesamte chilenische Nationalprodukt der letzten 400 Jahre ausmachte, nämlich 11 Mrd. Dollar!

Glücklicherweise besteht für das wichtigste Anwendungsgebiet des Kupfers als elektrischer Leiter eine reale Ausweichmöglichkeit auf das Leichtmetall Aluminium. Es ist der Spitzenreiter unter den Nichteisenmetallen. Sein Produktionszuwachs im Weltmaßstab beträgt jährlich etwa 9%. Der Aluminiumgehalt der bergmännisch zugänglichen Erdkruste würde ausreichen, um die gesamte Erdkugel mit einer 80 m dicken Metallschicht zu umgeben. Aber nur 0,008% des Aluminiumanteils der Erdoberfläche liegen in Form von wertvollem Bauxit vor, dessen Weltvorräte (die zu über einem Drittel in Australien liegen) man heute auf mehr als 6 Mrd. t schätzt. Dies würde ausreichen, um die derzeitige Weltproduktion von über 15 Mill. t Aluminium noch einige hundert Jahre sichern zu können. Der zukünftige Weltaluminiumbedarf für 6,5 Mrd. Menschen dürfte aber um die Jahrtausendwende schon weit über 30 Mill. t pro Jahr betragen. Bei einem teilweisen Eisenersatz müßte man sogar mit einem Bedarf um 100 Mill. t pro Jahr rechnen. Ein solcher Verbrauch würde allein mit dem Bauxit auf längere Sicht nicht mehr abgedeckt werden können. Früher oder später muß man deshalb auf Tone und danach vielleicht sogar auf die Aluminosilikate der Eruptivgesteine zurückgreifen, die zwar im Durchschnitt nur 10% Aluminium enthalten, wegen ihrer weltweiten Verbreitung aber eine nahezu unerschöpfliche Reserve bilden. Die Bemühungen zur Entwicklung geeigneter Technologien für diese Zwecke sind im vollen Gange. So wird etwa seit 1975 in den USA eine noch dazu energiesparende Methode der Aluminiumgewinnung erprobt, bei der man den Rohstoff mit Chlor zu Aluminiumchlorid umsetzt, das man sodann elektrolytisch in die Elemente zerlegt.

Auch bei unserem zweitwichtigsten Leichtmetall, dem Magnesium, wird man angesichts der ungeheuren Vorräte selbst auf lange Sicht keine Rohstoffschwierigkeiten haben.

Sicher können nur wenige Leute von sich behaupten, daß sie Metalle wie Titan, Neo-

dym, Lithium, Rubidium, Europium oder Tantal schon mit eigenen Augen gesehen hätten. Dabei sind diese Elemente gar nicht so selten. Die Naturreserven an Rubidium z. B. sind 45mal größer als die von Blei. Wer aber würde Blei schon für ein seltenes Metall halten? Der Ausdruck »seltenes Element« sagt oft nicht mehr, als daß es bislang nur in relativ kleinen Mengen gewonnen wird, weil nur wenige ausbeutungswürdige Lagerstätten bekannt sind. Nichtsdestoweniger sind heute viele »seltene« Metalle Materialien der neuesten Technik. Titan ist ein korrosionsbeständiger Rivale des Aluminiums und Stahls, dessen Anwendung besonders auch in der Chemieindustrie im letzten Jahrzehnt sprunghaft angestiegen ist. Uran und Thorium sind zukunfts-trächtige Energiespeicher. Tantal ist der Vater besonders widerstandsfähiger, säure- und hitzebeständiger Legierungen. Ohne Platin, Palladium und Rhodium wäre die Katalysatorchemie nur ein armseliges Rudiment. Über 98% der Platinmetall-Weltvorräte, die 1971 auf insgesamt etwa 14 000 t veranschlagt wurden, liegen übrigens in Südafrika, Kanada und in der UdSSR. Die Weltproduktion betrug 119 t, wovon rund 60% auf die UdSSR entfielen. Interessant ist, daß man in 20 Jahren etwa die Hälfte der Edelmetalle Palladium und Rhodium aus den radioaktiven Abfalllösungen von Kernreaktoren isolieren will. Sehr wünschenswert wäre auch die Gewinnung von Technetium-99 aus derartigem Atommüll. Dieses Element ist nämlich nicht nur ein wertvoller Supraleiter, sondern auch ein ausgezeichnete Korrosionsinhibitor. Schon in der geringen Konzentration von 0,1 mg pro Liter verhindert es das Rosten von Eisen in Wasser und Salzlösungen selbst bei erhöhter Temperatur!

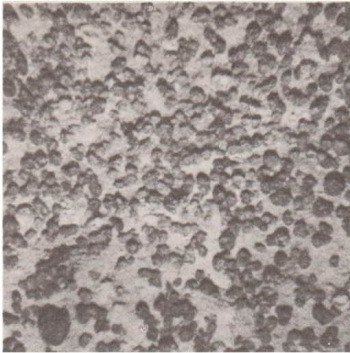
Im Gegensatz zu fast allen anderen Metallen ist das Kalium nur in Form seiner Verbindungen insbesondere für die Landwirtschaft interessant. In der DDR lagern 14 Mrd. t abbauwürdige Kalisalzsalze mit einem durchschnittlichen K_2O -Gehalt von 8 bis 14%. Wir haben darüber hinaus praktisch unbegrenzte Vorkommen an Steinsalz (NaCl) und Karnallit ($MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$), aus dem sich bei relativ niedrigen Kaliumgehalten auch Magnesium gewinnen ließe. Die derzeit bekannten Kalisalzweltvorräte betragen weit mehr als 50 Mrd. t.

Über die Hälfte davon lagert in der UdSSR. Würde man die Fördermenge des Jahres 1975 (Knapp 24 Mill. t K_2O) beibehalten, so könnte man damit noch länger als 2000 Jahre wirtschaften.

Eine Entlastung der bei vielen wichtigen Metallen bestehenden Rohstoffsorgen wird die Nutzung ärmerer Erzlagerstätten bringen, die z. T. sogar im Tagebau betrieben werden können. Welche Leistungen dabei von der Aufbereitungstechnik erbracht werden müssen, verdeutlicht die Anreicherung der erzgebirgischen Zinnerze mit einem Metallgehalt von nur 0,3% zu verhüttungsfähigen Konzentraten mit immerhin 40% Zinnanteil. Die Ausbeutung extrem armer Lagerstätten erfordert also billige Energie und neuartige Technologien. So wird man zukünftig vielleicht sogar die Pulverisierung der metallarmen Gesteine mit Hilfe von Kernenergie und die anschließende Extraktion des zerkleinerten Materials mit rezirkulierenden Lösungsmitteln in Betracht ziehen müssen.

Auch der Bergbau unter Wasser wird die Metallbilanzen der Zukunft entlasten. Aus den sogenannten Seifenlagerstätten, die nur etwa 130 m oder weniger tief unter der Meeresoberfläche liegen, könnten edelsteinhaltige und mit Schwermetallen (Zinn, Gold, Platin, Eisen, Wolfram, Chrom usw.) angereicherte Sedimente gewonnen werden. Ebenso darf man am Kontinentalabhang, in den Meeressedimenten und in den metallhaltigen Schlämmen des Roten Meeres sowie der japanischen und indonesischen Gewässer, im roten Tiefseeton (größte Aluminiumvorräte unseres Planeten) und vielleicht sogar im Felsgestein unter der Tiefsee noch große Vorräte an Metallrohstoffen verschiedener Art erwarten. Die bohnen- bis rüben-großen Eisen- und Manganknollen des pazifischen Meeresbodens enthalten durchschnittlich etwa 25% Mangan und Eisen sowie Nickel, Kupfer, Kobalt und Titan in Konzentrationen von 1,5 bis 3,5%. Der Vorrat soll mehr als 1500 Mrd. t betragen, wobei noch jedes Jahr etwa 10 Mill. t neu gebildet werden! Man vermutet, daß in diesen Knollen mehr Nickel, Mangan und Kobalt abgelagert ist als in allen bekannten Lagerstätten auf dem Festland zusammengekommen.

In den Meeren unseres Planeten schließlich



Rohstoffe der Zukunft: Manganknollen vom Tiefseeboden.

sind unter anderem 4,5 Mrd. t Uran, je 3 Mrd. t Mangan, Vanadium und Nickel sowie 6 Mrd. t Gold (also 1,5 t für jeden Erdenbürger!) enthalten. Die Konzentration der Einzelbestandteile ist zwar minimal, aber die günstigen Perspektiven der Meerwasserentsalzung, in deren Abgängen sich die Salze bis auf das 3- bis 4fache anreichern, wird der Gewinnung bestimmter Schwermetalle aus dem Wasser in der Zukunft vielleicht doch noch eine wirtschaftliche Perspektive eröffnen.

Probleme mit nichtmetallischen Rohstoffen?

Nach wie vor interessieren bei den Metallen in erster Linie die Elemente selbst. Die Bedeutung der Nichtmetalle dagegen ist vorzugsweise wegen des rasch zunehmenden Bedarfs an unentbehrlichen Verbindungen im Wachsen begriffen. Trotzdem ist die Versorgung mit den für die Chemie sehr wichtigen Elementen Schwefel, Phosphor, Stickstoff, Sauerstoff und Chlor auch auf lange Sicht ungefährdet.

Abgesehen von Reinschwefel und dem am stärksten ausgebeuteten Schwefelerz Pyrit (FeS_2) gibt es Schwefelmineralien, die nicht

nur in ungeheuren Mengen vorkommen, sondern obendrein auch noch an vielen Stellen der Erdoberfläche – so auch in der DDR – in abbauwürdigen Lagern greifbar sind. Das sind die Erdalkalisulfate Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Anhydrit (CaSO_4) und Kieserit ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). In der DDR werden heute über 60% der Schwefelsäure aus Anhydrit gewonnen. International hat sich das Verfahren aber noch nicht durchsetzen können, weil die großen Chemieländer vorläufig noch günstigere Schwefelquellen zur Verfügung haben. Auf längere Sicht wird die Schwefelbilanz auch durch den zunehmenden Bau von Abgasentschwefelungsanlagen entlastet werden können. Immerhin übertrifft allein die in der DDR aus den Schornsteinen in Form von Schwefeldioxid entweichende Schwefelmenge den Landesbedarf um das 10fache!

Die bekannten, mit den jetzigen technischen Mitteln erschließbaren Phosphorlagerstätten beherbergen mindestens 60 Mrd. t P_2O_5 , und noch immer werden neue Vorräte entdeckt. Im Jahre 1974 lag die Weltproduktion bei etwa 26 Mill. t P_2O_5 , wovon $\frac{2}{3}$ auf die UdSSR und USA entfielen. Die bekannten Lagerstätten werden demnach ausreichen, um die Weltproduktion des Jahres 1974 für mehr als 2000 Jahre aufrechterhalten zu können.

Stickstoff ist als wesentlicher Bestandteil aller Eiweißkörper, als Schlüsselement für die Düngemittelproduktion und viele andere industriell hergestellte Verbindungen von überragender Bedeutung. Um so beruhigender ist es zu wissen, daß es ein Rohstoffproblem »Stickstoff« auf unserer Erde niemals geben wird. Daran ändert auch die Tatsache nichts, daß das Element mit einem Anteil von 0,03% eigentlich schon zu den selteneren Grundstoffen gehört. Besteht doch die uns umgebende Luft zu mehr als $\frac{3}{4}$ aus Stickstoff. Über jedem Quadratmeter Erdoberfläche hängen mehr als 7,5 t davon. Die Luft ist geradezu ein Stickstoffmeer!

Einer der wichtigsten Chemierohstoffe ist der Sauerstoff, obwohl man sich das meist gar nicht bewußt macht. Dabei gehören Oxidationsprozesse unter direkter und indirekter Beteiligung von Sauerstoff zu den wichtigsten chemischen Reaktionen überhaupt. Der Sauerstoff ist mit einem Anteil von knapp 50% an der Erdkruste das weitaus häufigste aller

Elemente, aber der größte Teil ist bereits in Form von Verbrennungsprodukten fixiert. Atmosphärischer Sauerstoff macht nur etwa 0,013 % der Gesamtmenge aus. Die zu dieser kleinen Zahl gehörenden 1180 Billionen t würden ausreichen, um das 1650fache der zur Zeit auf der Erde vorhandenen organischen Kohlenstoffmasse vollständig in Kohlendioxid umzuwandeln. Rohstoffsorgen mit dem Sauerstoff wird es deshalb trotz aller Verschmutzungsprobleme wohl niemals geben, zumal der Vorrat durch die Assimilation der Pflanzen (1 ha Wald liefert 60 t Sauerstoff pro Jahr!) sowie durch die von UV-Strahlen ausgelöste Spaltung des Wasserdampfes in der Atmosphäre ständig erneuert wird.

Der Chlorbedarf steigt besonders wegen der hohen und stabilen Wachstumsraten für Salzsäure und Vinylchlorid überall an. Dennoch wird auch in der ferneren Zukunft kein Mangel auftreten, denn Chlor ist trotz der geringen Elementhäufigkeit von 0,2 % nicht nur in den großen Salzlagerstätten, sondern auch im Meerwasser (30 kg NaCl/m^3) in überreichem Maße zugänglich. Das gilt selbst noch für das 300mal seltenere Brom.

Größte Bedeutung für die Weiterentwicklung der menschlichen Zivilisation hat die Produktion der künstlichen Steine – Gips, Mörtel, Zement, Beton. Um so erfreulicher ist es, daß die dafür erforderlichen Massenrohstoffe wie Sand, Kies, Ton, Schotter, Splitt, Kalk, Dolomit weltweit – und vor allem auch bei uns – in zahlreichen großen Lagerstätten zur Genüge vorhanden sind. Das eigentliche Problem ist die Lage zu den Hauptbedarfsträgern. Beispielsweise haben wir in der DDR bei den Zementrohstoffen sehr gute Möglichkeiten im Süden, aber nur geringe im Norden. Jedes Jahr müssen deshalb rund 15 000 Güterwagen Baukies in die Nordbezirke gebracht werden. Die zunehmende Gewinnung von Kies aus der Ostsee wird hier Abhilfe schaffen.

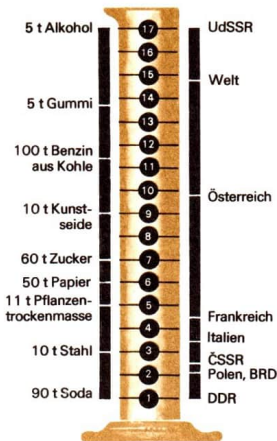
Vergleicht man die Naturressourcen unseres Planeten mit den am häufigsten verwendeten Werkstoffen, den Metallen und Silikaten, so ist festzustellen, daß ihr Einsatz vorläufig noch fast umgekehrt proportional zur Rohstoffsituation erfolgt. Die Häufigkeitsverteilung der Elemente in der Erdkruste legt den Schluß nahe, daß die eigentlichen Baumate-

rialien der Zukunft silikatische Werkstoffe sein werden.

Bei alledem sollte man nicht übersehen, daß nahezu kein chemisches Produkt ohne Wasser hergestellt werden kann. In vielfältiger Weise dient es als Lösungsmittel und Wärmeträger sowie als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Sauerstoff und Wasserstoff. Die Chemieindustrie ist mit einem Anteil von 25 % nach der Energiewirtschaft (41 %) der wichtigste industrielle Wassergroßabnehmer. Allein unsere Leunawerke benötigen z. B. 18mal soviel Wasser wie die Stadt Rostock!

Der weltweite Industrialisierungsprozeß, die Bevölkerungszunahme und das wachsende Lebensniveau beanspruchen die Wasservorräte der Erde in zunehmendem Maße. Bis zur Jahrtausendwende wird sich der Weltwasserbedarf voraussichtlich verdreifachen! Die bange Frage »Wird das Wasser auf der Erde knapp?« ist deshalb nicht nur für den Laien aktuell.

Betrachten wir indessen einen Globus, dann wird sofort klar: Die Erde ist ein Wasserstern. Meere, Seen, Flüsse und Eis bedecken mehr als 75 % seiner Oberfläche. Würde man die Gesamtwassermenge unseres Planeten, das sind nach neueren sowjetischen Berechnungen 1386 Mill. km^3 (!), gleichmäßig verteilen, so erhielte die Erde einen Wassermantel von immerhin 2713 m Dicke. Der Süßwasseranteil beträgt allerdings nur etwa 2,5 % dieses Potentials. Davon können mit vertretbarem Aufwand knapp $200\,000 \text{ km}^3$ genutzt werden. Auf lange Sicht steht sogar nur der durch den unendlichen Kreislauf des Wassers immer wieder regenerierte Teil zur Verfügung, der nicht verdunstet, sondern entweder oberirdisch den Gewässern zufließt oder versickert und so das Grundwasser und die Quellen speist. Das potentielle Wasserdargebot der Landfläche der Erde reduziert sich damit auf etwa $45\,000 \text{ km}^3$ Wasser, das sind etwa 11 000 bis $12\,000 \text{ m}^3$ pro Kopf und Jahr. Demgegenüber stehen in der DDR jährlich nur 880 m^3 je Einwohner zur Verfügung. Es kommt deshalb vor allem auch in der Chemieindustrie darauf an, das Wasser und Abwasser mit Hilfe effektiver Verfahren immer besser aufzubereiten, wassersparende Kühlmethoden einzuführen sowie geschlossene Wasserkreisläufe zu entwickeln.



Potentiellles Wasserdargebot pro Einwohner und Jahr in ausgewählten Ländern, bezogen auf die DDR (1 = 880 m³), und Vergleich mit dem Wasserverbrauch bei der Herstellung einiger Chemieprodukte.

Im Jahre 2000 werden auf jeden Erdenbürger noch etwa 6500 m³ nutzbares Wasser entfallen. Aber auch das ist noch sehr viel mehr, als selbst bei großer Wasserverschwendung verbraucht werden kann – und trotzdem haben die Menschen immer stärker unter Wassersorgen zu leiden! Für diesen Widerspruch gibt es zwei Hauptursachen: Zum einen ist das auf der Erde vorhandene Wasser zeitlich und örtlich sehr ungleichmäßig verteilt, und zum anderen befindet es sich teils von Natur aus (Salzwasser), teils durch die Schuld des Menschen (verunreinigtes Wasser aller Art) in einem Zustand, in dem es nicht unmittelbar genutzt werden kann. Unsere Wassersorgen bestehen also in einem Verteilungs- bzw. Transportproblem und in einem Reinigungs- bzw. Sauberhaltungsproblem. Beide werden in der Zukunft gelöst werden können.

Das Fundament für den weitaus größten Teil der chemischen Produktion bilden jedoch

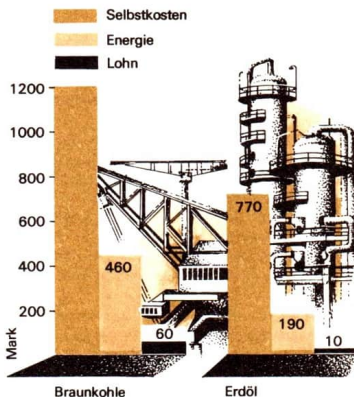
die Kohlenstoffverbindungen. Da sie darüber hinaus auch unsere wichtigsten Energieträger sind, darf ohne jede Übertreibung gesagt werden:

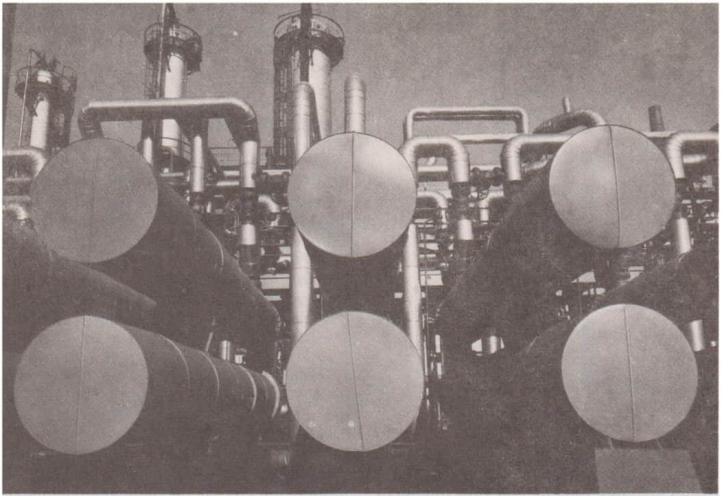
Kohlenstoff ist unentbehrlich!

Sehen wir uns an, was die Schatzkammern der Erde von diesem Element zu bieten haben.

Der Kohlenstoff steht mit einem Anteil von 0,087% an der Erdrinde in der Reihenfolge der Elemente erst an dreizehnter Stelle. Diese 0,087% entsprechen aber einer Menge von beinahe 20000 Billionen t, von denen 99,5% (!) in den Karbonaten, insbesondere des Kalziums und Magnesiums, versteckt sind. Von den verbleibenden 0,5% liegen 0,47% als Kohlendioxid in der Luft und im Wasser fest, und nur 0,02% des Gesamtvorlages sind in Form von Kohle, Öl und Gas gebunden. Die übrigen 0,01%, das sind 0,000009% des Erdrindengewichtes, bleiben für die Biosphäre. Diesem »kläglich« Rest entsprechen etwa 2 Billionen t. Das ist eine Menge, mit der sich der Weltkohlenstoffver-

Kostenvergleich für die Herstellung von 1 t Äthylen aus Braunkohle und aus Erdöl in Mark (Preisbasis etwa 1970).





In derartigen Anlagen wird das Rohöl aufgearbeitet. Teil einer Rohöldestillation.

brauch des Jahres 1970 über 500 Jahre lang aufrechterhalten ließe.

Der unbefangene Beobachter könnte bei dieser Sachlage für eine zweckmäßige Bewirtschaftung der Kohlenstoffreserven unseres Erdballs möglicherweise folgendes überlegen:

1. Die Chemiker sind potentiell in der Lage, aus den in der Natur vorhandenen Kohlenstoffquellen jede gewünschte Kohlenstoffverbindung herzustellen.
2. Verbrannt und damit für Zwecke der Energiegewinnung genutzt werden können nur 0,03% des Gesamtstocks, nämlich der organisch bzw. fossil gebundene Kohlenstoff.
3. Demnach sollte sich die Chemie auf eine Verwertung der fast überall reichlich und in großen Lagern vorhandenen Karbonate konzentrieren. Der Energiewirtschaft bleiben die organischen C-Vorräte zur Ver-

brennung zwecks Energiegewinnung vorbehalten.

In Wirklichkeit bemüht sich heute sowohl die Chemie als auch die Energiewirtschaft mit großer Intensität fast ausschließlich um die 0,02% an fossilem Organokohlenstoff in Gestalt von Kohle, Öl und Gas. Speziell der Einsatz von Erdöl und Erdgas bietet der chemischen Industrie gewaltige Möglichkeiten für eine hocheffektive Produktionsentwicklung. Im Vergleich zur Kohle liegt der Investitions- und Verarbeitungsaufwand wesentlich niedriger, weil viele verlustreiche Umwandlungen zur Herstellung der von der Industrie benötigten Kohlenwasserstoffe entfallen. Die Leistung pro Arbeitskraft beträgt in der Petrochemie gegenüber der Kohlechemie nicht weniger als das 12- bis 16fache.

Der Verarbeitungsprozeß des Erdöls beginnt nach der Entsalzung mit einer destillativen Auftrennung des Rohöls in Fraktionen, die jeweils durch unterschiedliche Siedebereiche charakterisiert sind. Sie wird in weitgehend automatisierten Raffinerien durchgeführt, deren Kapazität heute meist zwischen

1 und 4 Mill. t/Jahr liegt. In der UdSSR und den USA laufen aber auch schon Anlagen mit einem jährlichen Öldurchsatz von mehr als 10 Mill. t. Die aus der Rohöldestillation kommenden Produkte enthalten z.T. noch unerwünschte Stoffe (besonders Schwefelverbindungen), die beseitigt werden müssen. Als modernstes Verfahren steht dafür zur Zeit die hydrierende Behandlung in Gegenwart von Katalysatoren (Hydrosaffination) mit Anlagengrößen zwischen 300 bis 700 kt/Jahr zur Verfügung.

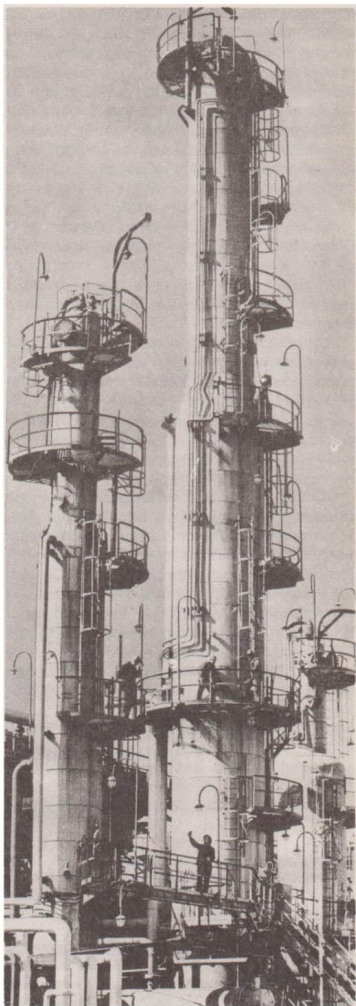
Der ständig wachsende Bedarf an Vergaserkraftstoffen sowie an Rohbenzinen und Mitteldestillaten für die Petrochemie erfordert das Spalten oder Cracken der hochmolekularen Fraktionen und Rückstände bei Temperaturen über 400°C, wodurch die Ausbeute an Benzinkohlenwasserstoffen wesentlich erhöht wird. Für diesen Zweck werden vor allem katalytische Hydrocrackverfahren angewendet, die durch den Wasserstoff zugleich auch eine hydrierende Raffination erlauben, so daß eine gesonderte Reinigung überflüssig wird. Das Verfahrensprinzip entspricht demnach etwa der klassischen Kohlehydrierung nach Bergius. Die Anlagenkapazitäten liegen derzeit zwischen 300 und 600 kt pro Jahr.

Besonders um Mitteldestillate herzustellen, gewinnen neuerdings auch die thermischen Spaltverfahren wieder an Aktualität.

Krackprozesse sind für die Benzinerzeugung von überragender Bedeutung. Ohne sie müßten über zwei Drittel unserer Kraftfahrzeuge stillstehen. Durch Cracken von Erdölfraktionen wird heute der weitaus größte Teil aller Benzine auf unserem Erdball gewonnen. Ihre ständige Verbesserung durch Erhöhung der Klopffestigkeit¹ ist ein Hauptanliegen. Seit 15 Jahren gehört deshalb zur Standardausrüstung einer Raffinerie die sogenannte ka-

1 Klopffestigkeit: Widerstand eines Vergaserkraftstoffs gegen Selbstentzündung bei der Kompression im Verbrennungsmotor. Das Klopfen oder Klingeln eines Motors wird durch eine ungleichmäßige Verbrennung des Kraftstoff-Luft-Gemisches hervorgerufen.

Moderne sowjetische Erdölfractionierkolonne zur Herstellung von Dieseltreibstoff und hochoktanigem Benzin.



talytische Reformierung, mit der man Benzinfraktionen klopffester macht. Auch das Reformieren ist im Prinzip ein (mildes) Kracken. Es erfolgt über Platin oder anderen geeigneten Schwermetallkatalysatoren bei 500 °C und 20 bis 40 bar. Dabei entstehen aus Naphthenen (Zykloalkanen) und Alkanen¹ unter Wasserstoffabspaltung Aromaten², außerdem werden geradkettige Kohlenwasserstoffe in verzweigte umgewandelt, wodurch insgesamt die Benzinqualität erhöht wird.

Flüssige Treibstoffe (also Benzin und Dieselmotortreibstoff) werden heute auf der Erde in einer Größenordnung von mehreren 100 Mill. t/Jahr produziert. Sie gehören damit zu den unentbehrlichsten Massenprodukten unseres Zeitalters.

Während die Erdölindustrie in den USA auf eine maximale Produktion von Vergaserkraftstoffen eingestellt ist, bemüht man sich in den europäischen Ländern besonders um die Erzeugung von Heizölen, Mitteldestillaten und in wachsendem Maße auch von Rohbenzin sowie Flüssiggasen (Propan, Butan) und Raffineriegasen für die Chemie.

Die moderne petrochemische Synthese basiert auf den niederen, ungesättigten kettenförmigen und aromatischen Kohlenwasserstoffen. Als einfachste Methode zur industriellen Gewinnung dieser Produkte hat sich die Pyrolyse von gasförmigen Alkanen und (in zunehmendem Maße) von leichtsiedenden Erdölfraktionen bei Temperaturen von 800 bis 870 °C und Kontaktzeiten bis zu einer Sekunde bewährt. Die Entwicklungstendenz der letzten Jahre ist dadurch gekennzeichnet, Großanlagen mit Kapazitäten um 500 000 bis 700 000 Jahrestonnen aufzubauen, die Selektivität des Prozesses zu erhöhen sowie schwere Destillate und sogar Erdöl selbst als Pyrolyserohstoffe einzubeziehen.

Alles in allem führt der Abbau des Erdöls zu

1 Alkane (Paraffine, Grenzkohlenwasserstoffe): Kettenförmige gesättigte Kohlenwasserstoffe der allgemeinen Formel C_nH_{2n+2} . Einfachste Glieder: Methan CH_4 , Äthan C_2H_6 , Propan C_3H_8 , Butan C_4H_{10} .

2 Aromaten: Bezeichnung für stabile ringförmige Verbindungen, vorzugsweise Kohlenwasserstoffe, die sich formal vom sechsgliedrigen Benzol (C_6H_6) ableiten.

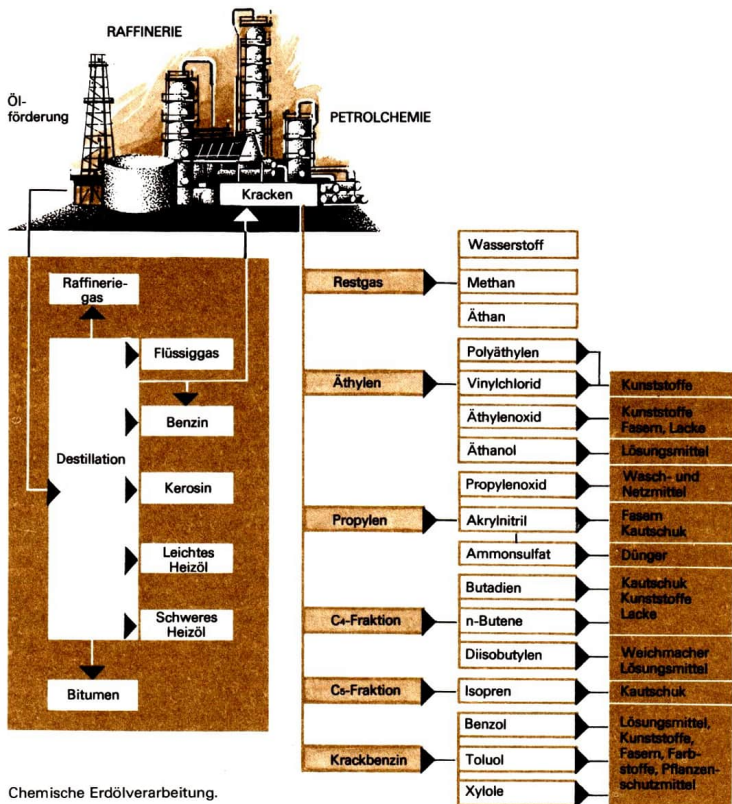
ungefähr zwei Dutzend einfacher Primärchemikalien, von denen die niederen Olefine¹ und Diolefine (insbesondere Äthylen und Propylen bzw. Butadien und Isopren), die sogenannten BTX-Aromaten (Benzol, Toluol, Xylol) und Kohlenmonoxid-Wasserstoff-Synthesegase mit Abstand die wichtigsten sind. Diese Substanzen bestimmen als Ausgangsstoffe für Tausende von Zwischen- und Endprodukten der stoffwandelnden Industrie das Profil der gesamten organisch-chemischen Produktion.

Zur Zeit werden im Weltmaßstab rund 85% aller organischen Chemikalien auf der Basis von Erdöl und Erdgas hergestellt. Dieser Anteil soll sich bis zur Jahrtausendwende noch auf 99% erhöhen!

Die starke Ausdehnung der Petrochemie in den letzten 15 Jahren ist besonders eindrucksvoll an der Produktionsentwicklung des Äthylens sichtbar, das zu einem unentbehrlichen Ausgangsprodukt für die Plaste-, Lack- und Farbenindustrie geworden ist. 1960 betrug die Weltproduktion erst 3,4 Mill. t, 1975 waren schon 30 Mill. t erreicht. Bei einer prognostischen Steigerungsrate von etwa 12% wären im Jahre 1980 etwa 50 Mill. t zu erwarten! Ebenso schnell wächst die Erzeugung von Propylen, das 1980 in einer Gesamtmenge von ungefähr 20 Mill. t verfügbar sein soll. Allgemein wird eingeschätzt, daß sich die Weltkapazitäten der Petrochemie etwa mit dem 2- bis 3fachen Tempo der übrigen chemischen Industrie weiterentwickeln werden.

Der Erdölinsatz für petrochemische Zwecke ohne Kraft- und Brennstoffe betrug 1975 in der Welt etwa 105 bis 110 Mill. t. Das waren zirka 4% des Gesamtverbrauchs. In den Industrieländern lag er zwischen 5 und 10%, speziell in der DDR bei 5 bis 6%, wobei in den nächsten 15 Jahren 10 bis 12% angestrebt werden. Man erwartet, daß die petrochemische Industrie im Jahre 2000 auf unserer Erde insgesamt etwa 15% des geförderten Erdöls und Erdgases verarbeiten wird.

1 Olefine (Alkene): Kettenförmige ungesättigte Kohlenwasserstoffe der allgemeinen Formel C_nH_{2n} mit einer C=C-Doppelbindung. Einfachste Glieder: Äthylen (oder Äthen) C_2H_4 , Propylen (oder Propen) C_3H_6 .

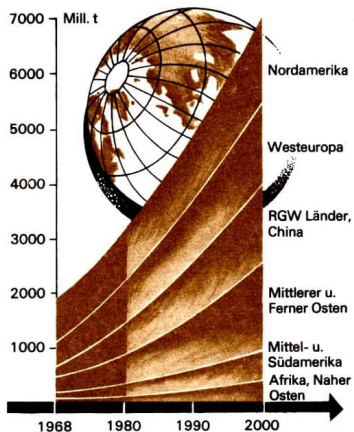


Chemische Erdölverarbeitung.

In der DDR basiert die Stoffwirtschaft bei insgesamt rückläufiger Tendenz noch zu 60 bis 70% auf Kohle. 1975 entstammten erst 50% (international aber schon $\frac{4}{5}$) des von der Chemie transformierten Kohlenstoffs aus Erdöl. Etwa um 1980 wird man jedoch auch bei uns 75 bis 80% des benötigten Kohlenstoffs aus Öl und Gas gewinnen.

Heute klingt es fast wie ein Märchen, wenn

man erfährt, daß das Erdöl noch bis zum 19. Jahrhundert nur gelegentlich als Wagenschmiere oder Heilmittel benutzt wurde. 1860 betrug die Weltförderung erst 70 000 t. Bis zur Jahrhundertwende stieg die Produktion auf 21 Mill. t, und noch einmal 75 Jahre später hatte sich die Erdölförderung auf 2731 Mill. t erhöht. Das entsprach seit 1900 einer Steigerung um mehr als das 130fache!



Mineralölweltbedarf zwischen 1970 und 2000.

Tabelle 1. Chemierohstoff Erdgas

Erdgas → Heizgas für Energieerzeugung

Erdgasaufbereitung:

Entschwefelung	→ Schwefel
Gasbenzinabtrennung	→ Benzin
Heliumabtrennung	→ Helium

Synthesegaserzeugung:

H_2/N_2	→ Ammoniak
H_2/CO	→ Methanol
H_2	→ Hydrierungen

thermische Spaltung:

Azetylen	→ Kunststoffe
Ruß	→ Gummiherstellung

chemische Umsetzungen:

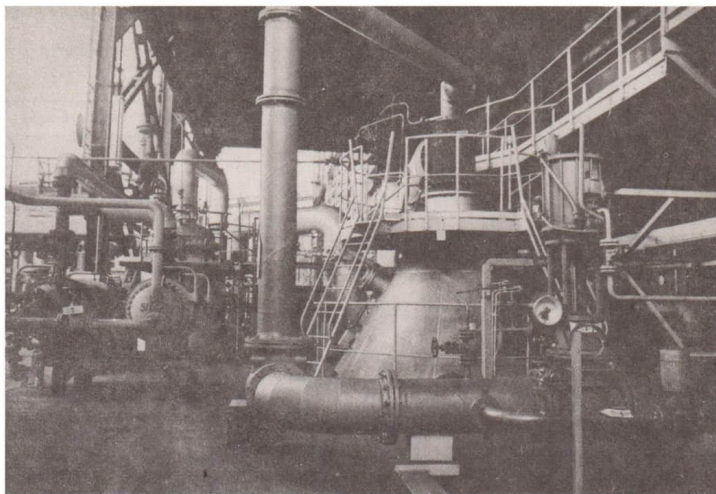
mit Chlor	→ Chlormethane für Kältemittel, Lösungsmittel, Feuerlöschmittel
mit Fluor	→ Fluormethane für Kältemittel, Spray-Treibmittel,
mit Ammoniak	Teflon
	Blausäure für Kunststoffe

Die sicher nachgewiesenen und gewinnbaren Erdölreserven der Welt wurden Ende 1974 mit etwa 97 Mrd. t angegeben. Der Quotient aus Reserven und Weltjahresförderung ist schon seit 1960 mit einem Wert um 37 annähernd konstant. Er wird sich auch bis zur Jahrtausendwende noch in dieser Größenordnung halten. Nach sowjetischen Schätzungen kann nämlich trotz steigender Förderung mit einem weiteren Anwachsen der sicheren Vorräte auf 123 Mrd. t 1980, 182 Mrd. t 1990 und 270 Mrd. t im Jahre 2000 gerechnet werden. Durch einen höheren Ausbeutungsgrad der Lagerstätten hofft man insgesamt sogar etwa 550 Mrd. t Erdöl nutzen zu können. Bezieht man Ölsande und bituminöse Schichten mit ein, so steigen die potentiellen Erdölreserven auf mindestens 800 Mrd. t an.

Unterstellen wir ein weiteres Anwachsen der Erdölförderung mit dem Zuwachs der letzten Jahre (nämlich etwa 90 Mill. t pro Jahr), so würde die Menschheit im Jahre 1980 etwa 3 bis 4 Mrd. t, 1990 etwa 5 Mrd. t und 2000 rund 6 bis 7 Mrd. t benötigen. Wollte man diesen Verbrauch für weitere 50 Jahre aufrechterhalten, so müßten dafür an der Jahrtausendwende noch 300 bis 350 Mrd. t Erdöl bereitstehen. Da wir bis zum Jahre 2000 voraussichtlich noch rund 80 Mrd. t verbrauchen, stünden von den vorhandenen 550 Mrd. t noch etwa 470 Mrd. t zur Verfügung. Daraus folgt, daß die Erdölversorgung bis zum Jahre 2050 auf jeden Fall gesichert werden kann.

Der Erdgaseinsatz in der chemischen Industrie (z. B. zur Gewinnung solch wichtiger chemischer Grundprodukte wie Azetylen, Formaldehyd, Methanol, Ruß, Schwefelkohlenstoff, Blausäure und Wasserstoff) ist im letzten Jahrzehnt besonders schnell gewachsen. 1966 waren es in Frankreich schon 25%, in der BRD 21%, in Rumänien 33%, in der UdSSR aber wegen des unverhältnismäßig schnellen Zuwachses der Erdgasförderung zunächst nur 9% des verfügbaren Gases. Diese Anteile werden sich in der Zukunft stark erhöhen. In der DDR ist ein Erdgaseinsatz für chemische Zwecke in Höhe von etwa 40% konzipiert.

Die sichere Weltreserve an Erdgas betrug 1970 etwa 34000 Mrd. m³, 1973 aber schon 57910 Mrd. m³. Die wahrscheinlichen Vorräte



Erdgas-Niederdruckspaltanlage. Ursprünglich wurde Synthesegas in Leuna aus Steinkohlenkoks und später aus Braunkohlenhochtemperaturkoks gewonnen. Danach kam die Heizöl-Druckvergasung, und heute ist die Synthesegaserzeugung aus sowjetischem Erdgas aktuell.

sollen jedoch 120000 Mrd. m^3 umfassen, wobei allein für das sowjetische Territorium rund 80000 Mrd. m^3 prospektiert worden sind. Aber auch mit diesen Mengen ist der Zeitpunkt der drohenden Erschöpfung nicht in eine beruhigende Ferne zu rücken. Nur 80 Jahre könnte ein Weltbedarf in der Größenordnung des Jahres 1980 (1500 Mrd. m^3) damit gedeckt werden.

Neuerdings wird in der internationalen Fachliteratur wieder stärker auf Probleme der Kohlechemie (oder Karbochemie) eingegangen.

Bekanntlich basierte die Mineralölwirtschaft und auch die organisch-chemische Grundstoffindustrie besonders in Deutschland vor dem zweiten Weltkrieg auf kohlechemischen

Verfahren, und zwar im wesentlichen auf der Schwelung von Braunkohle, der katalytischen Druckhydrierung von Kohle bzw. Teer, der Fischer-Tropsch-Synthese aus Kohlenmonoxid-Wasserstoff-Gasgemischen und der Gewinnung von Azetylen aus Koks und Kalk. Deshalb auch sind auf dem Territorium der DDR noch beachtliche Kapazitäten zur chemischen Kohleveredelung (wie Kokereien, Anlagen für Sauerstoffdruckvergasung und Azetylgewinnung) vorhanden, die man sicherlich noch einige Zeit nutzen wird.

Indessen hat sich die Kohlechemie international bisher nur mit dem Azetylen in einem begrenzten Umfange behaupten können. Aber das Azetylen steht als Rohstoff für chemische Synthesen in einem scharfen Wettbewerb mit dem Äthylen. So ist die Weltproduktion an Azetylen in den letzten 15 Jahren mit reichlich 3 Mill. Jahrestonnen etwa gleichgeblieben, während die Äthylenerzeugung um das 10fache anwuchs. Darin kommt die Überlegenheit des Äthylens recht deutlich zum Ausdruck. Für zahlreiche Synthesen ist aber der Einsatz von Azetylen nach wie vor

Tabelle 2. Alternative Herstellung organischer Grundstoffe aus fossilen Kohlenstoffträgern (nach Riedel u. Zimmermann 1976)

Produkt	Frühe Entwicklungsphase			Gegenwärtige Situation			Prognose		
	Kohle	Erdöl	Erdgas	Kohle	Erdöl	Erdgas	Kohle	Erdöl	Erdgas
Azetylen	+	-	-	+	+	+	+	+	+
Äthylen	+	-	-	-	+	(+)	-	+	(+)
Aromaten	+	-	-	(+)	+	-	(+)	+	-
Synthesegase	+	-	-	-	(+)	+	+	+	+
Kraftstoffe	+	(+)	-	-	+	-	-	+	-
Schmieröle	(+)	+	-	-	+	-	-	+	-
Bitumina	+	(+)	-	(+)	+	-	-	+	-
Paraffine und Wachse	+	-	-	(+)	+	-	(+)	+	-
E-Koks	+	-	-	+	(+)	-	+	(+)	-

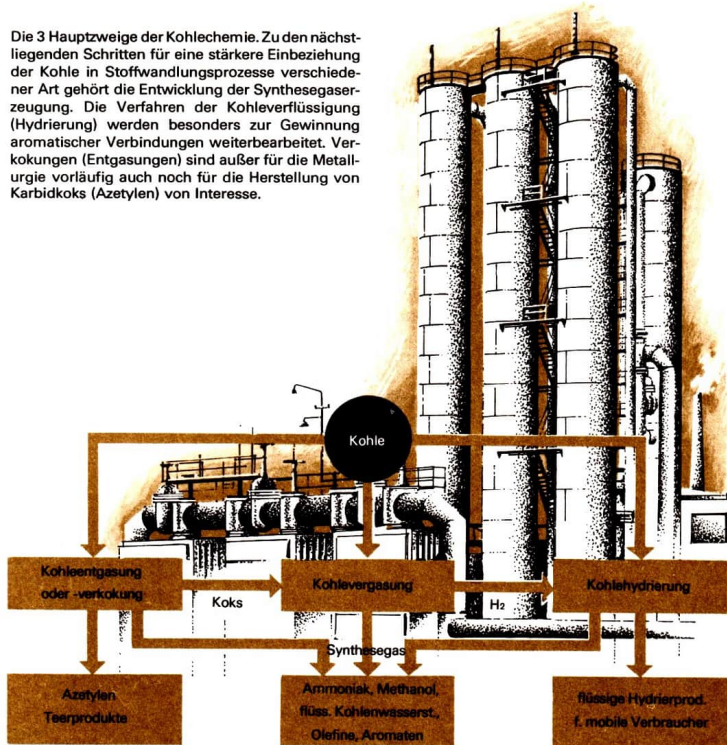
sehr zweckmäßig. Beispielsweise sind die Verfahren zur Herstellung der wichtigen Vinylmonomeren (z.B. Vinylchlorid und Vinylazetat) auf Azetylenbasis relativ unkomplizierte Einstufenreaktionen. Für den Einsatz von Äthylen an dieser Stelle sprechen also weniger verfahrensbedingte Vorteile als vielmehr der niedrigere Preis. Sollte es jedoch gelingen, Azetylen nennenswert billiger herzustellen, was freilich weniger auf Kohlebasis als vielmehr eher auf der Grundlage von Erdgas oder Leichtbenzin z.B. nach einem plasmachemischen Verfahren erwartet wird, so könnte das Azetylen unter Umständen konkurrenzfähig werden.

Für eine zukünftig intensivere chemische Nutzung der Kohle kommen die Benzinsynthese und der Weg über die Herstellung von Synthesegasen in Frage. Dafür eignen sich zahlreiche technische Verfahren, und neue befinden sich in der Entwicklung. Solange jedoch relativ wasserstoffreiche Erdölrückstände und Erdgas in großem Maßstab energetisch genutzt werden, ist der Aufbau einer umfangreicheren Karbochemie noch nicht unbedingt erforderlich. Ein hoher Wasserstoffgehalt der Kohlenstoffträger ist nämlich für die chemische Nutzung sehr vorteilhaft, nicht aber für die Energieerzeugung. Deshalb spricht vieles dafür, die Renaissance der Kohle zunächst durch eine stärkere Wiedereinbeziehung in die Energiewirtschaft zu fördern, um auf diese Weise mehr Öl und Gas für die Chemie frei zu halten.

Die Versuche zur Neubelebung der Kohlechemie sind nichtsdestoweniger in den letzten Jahren sehr vielfältig geworden. So arbeitet seit 1972 in Katowice ein RGW-Koordinierungszentrum, in dem neue Methoden zur chemischen Nutzung der Kohle erforscht werden. Man untersucht die Möglichkeiten zur Gewinnung flüssiger Kohlenwasserstoffe aus Kohle und die rationelle Verwertung von Kohleabfällen. Bereits Ende der 80er Jahre hält man eine effektive Produktion von Treibstoffen aus Kohle für möglich, wobei die Vereinigung von Energiewirtschaft und Chemie in Kombinatun allgemein als die wirtschaftlichste Lösung angesehen wird. In den USA laufen Arbeiten zur Verschmelzung von Steinkohle in Gegenwart von Wasserstoff bei mäßig erhöhtem Druck. In einer Demonstrationsanlage mit einer Kapazität von 200 000 t flüssigen Kohlenwasserstoffen will man von 1979 bis 1983 die Voraussetzungen für den Bau von Großanlagen mit Verarbeitungskapazitäten bis zu 5 Mill. t Steinkohle pro Jahr schaffen. Auch die Umwandlung von Kohle in Öl ist bearbeitet worden. Wenn sich das Verfahren bewährt, könnte der Ölbedarf in den USA erforderlichenfalls einige hundert Jahre aus Kohle gedeckt werden. Schließlich wird auch daran gedacht, zur Erzeugung von Brenn- und Synthesegasen Kohle mit Hilfe der Abwärme von Kernreaktoren zu vergasen.

Alle diese Bemühungen gehen davon aus, daß nach dem Überschreiten des Kulminationspunktes der Öl- und Gaswirtschaft in der

Die 3 Hauptzweige der Kohlechemie. Zu den nächstliegenden Schritten für eine stärkere Einbeziehung der Kohle in Stoffwandlungsprozesse verschiedener Art gehört die Entwicklung der Synthesegaserzeugung. Die Verfahren der Kohleverflüssigung (Hydrierung) werden besonders zur Gewinnung aromatischer Verbindungen weiterbearbeitet. Verkokungen (Entgasungen) sind außer für die Metallurgie vorläufig auch noch für die Herstellung von Karbidkoks (Azetylen) von Interesse.

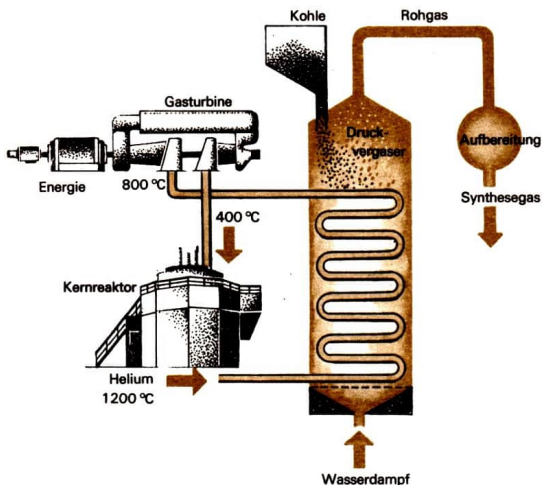


ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts international wieder mit einer stärkeren Einbeziehung der Kohle in chemische Prozesse aller Art zu rechnen sein wird. Wie immer man auch Art, Umfang und Tempo einer solchen Entwicklung einschätzen mag, die Rohstoffbasis für einen derartigen Weg würde im Weltmaßstab mit den auf unserem Planeten vorhandenen Kohlevorräten jedenfalls noch für einige hundert Jahre gesichert werden können. Immerhin lassen sich die geologischen Gesamtvorräte der Kohle auf 20000 bis 25000 Mrd. t schätzen. Bei einem industriell nutzbaren

Anteil von 15000 Mrd. t SKE¹ (wobei das Verhältnis von Steinkohle zu Braunkohle etwa 3 : 1 beträgt) könnte man die Förderung des Jahres 1974 (2,25 Mrd. t Steinkohle und 0,83 Mrd. t Braunkohle) noch 5000 Jahre aufrechterhalten, während sich der Energiebedarf an der Jahrtausendwende (etwa 25 Mrd. t SKE) damit noch 600 Jahre lang decken ließe.

Die DDR betreibt auf Grund ihrer geo-

1 SKE = Steinkohleneinheit: Vergleichsgröße, 1 kg SKE = 1 kg Steinkohle mit einem Energieinhalt von 29 Megajoule (7000 kcal).



Eine Lösung für die Zukunft: Synthesegasproduktion aus Kohle und Kernenergie im Druckvergasers ($C + H_2O \rightarrow CO + H_2$). Das hoch erhitzte Helium passiert als Kühlmittel eines Kernreaktors eine Art Tauchsieder, der in den Druckvergasers hineinragt. Schon Mitte der 80er Jahre erwartet man Prototypgroßanlagen.

logischen Verhältnisse eine ausgesprochene Braunkohlenwirtschaft, die nicht weniger als 94 % unseres Eigenaufkommens an Rohenergie bestreitet. Mit einer Förderung von zirka 250 Mill. Jahrestonnen (das ist knapp ein Drittel der Weltproduktion), die bis 1990 etwa gleichbleiben wird, stehen wir noch vor der Sowjetunion und der BRD an erster Stelle in der Welt. Diese Produktion könnten wir bei einem nutzbaren Gesamtvorrat von 25 000 Mill.t noch etwa hundert Jahre aufrechterhalten.

Im Vergleich zur DDR sind die Vorräte der anderen Braunkohlenländer (USA, UdSSR, BRD, Kanada) kaum angegriffen. Das gilt noch ausgeprägter auch für die Ausnutzung des Torfes, von dem allein die UdSSR mit ungefähr 160 Mrd.t über 60 % der Weltvorräte verfügt.

Wie dem auch sei, auf die Dauer jedenfalls werden die fossilen Brennstoffe den wachsenden Energie- und Chemierohstoffbedarf der Menschheit nicht decken können, denn diese Reserven sind endlich und gehen irgendwann mit Sicherheit zu Ende. Deshalb wird es gut sein, durch einen Ausbau der kernenerge-

tischen Basis die organischen Brennstoffvorräte zu entlasten. Auf diese Weise wird die Chemie ein beträchtliches Rohstoffpolster an Kohle, Öl und Gas gewinnen, so daß die Epoche der Petrol- und Kohlechemie noch einige hundert Jahre anhalten kann.

Aber was kommt nach dem Kohle- und Erdölboom? Vielleicht eine Karbonatchemie, die uns für immer von allen Kohlenstoffsorgen befreien würde? Das wäre möglich und wohl schon im 21. Jahrhundert auch energetisch praktikabel, zumal es Wege gibt, den erforderlichen Energieaufwand für derartige Umsetzungen noch spürbar zu verringern. So läßt sich Kohlendioxid aus der Luft nach einem in der Sowjetunion entwickelten Verfahren katalytisch zu einfachen organischen Verbindungen verarbeiten, ohne daß dazu wie bisher hohe Temperaturen und Drücke erforderlich wären. Besonders dringend ist aber die Entwicklung der Karbonatchemie für die überschaubare Zukunft nicht, zumal wir bisher noch 2 Billionen t Kohlenstoff, die im Bereich der Biosphäre gespeichert sind, völlig außer acht gelassen haben.

Für die Energieerzeugung steht diese Koh-

lenstoffreserve schon seit 100 Jahren außerhalb jeder ernsthaften Betrachtung, die Chemie aber hat sie im Grunde noch gar nicht entdeckt! Dabei werden jedes Jahr von der Pflanzendecke unseres Planeten rund 270 Mrd. t CO₂ (also täglich etwa 200 Mill. t Kohlenstoff) aufgenommen und mit Wasser zu 155 Mrd. t organischer Trockensubstanz, insbesondere in Form von Zellulose, Lignin, Stärke, Eiweiß und Fett, umgewandelt. Auf die Wälder unserer Erde entfallen davon 65, auf das Kulturland 9 und auf die Ozeane 55 Mrd. t. Die Fotosynthese ist damit wohl der wichtigste chemische Vorgang auf dem Erdball überhaupt. Unsere Wälder sind (ebenso wie landwirtschaftliche Kulturen) sozusagen vollkontinuierlich laufende Fabriken, die von der Sonne gespeist werden. Ihre Produkte stehen der Menschheit bei vernünftiger Bewirtschaftung in jeder beliebig nahen oder fernen Zukunft immer in der gleichen Form zur Verfügung, wobei sie sich mit einem Bruchteil des für andere Werkstoffe erforderlichen Energieaufwandes gewinnen lassen. Das macht ihre Sonderstellung aus.

Gegenwärtig rangiert das Holz nach Kohle und Erdöl in der Rohstoffliste der Welt an dritter Stelle. Die Holzvorräte unseres Planeten werden auf etwa 400 Mrd. m³ geschätzt. Der jährliche Holzeinschlag betrug Mitte der 70er Jahre ungefähr 2,5 Mrd. m³. Davon entfiel die reichliche Hälfte auf Industrieholz, der Rest auf Brennmaterial. Bis zum Jahre 2000 wird der Einschlag voraussichtlich auf 140–180% ansteigen.

Gegenwärtig nutzt die Menschheit zur Deckung ihres Holzbedarfs nur etwa ein Drittel der Waldflächen unserer Erde. Auf diesem Territorium beträgt der jährliche Zuwachs knapp 3 Mrd. m³, das entspricht etwas über 2 m³/ha gegenüber 6 m³/ha in der DDR. Der Holzbedarf in unserer Republik lag 1975 bei 17 Mill. m³ Rohholzäquivalenten. Reichlich 8 Mill. m³ kamen aus eigenem Aufkommen, 1 Mill. m³ wurden als Rohholz, der Rest in Form von Holzhalbzeugen (insbesondere Zellstoff und Schnittholz) importiert. Bis 1990 wird sich unser Verbrauch auf etwa 25 Mill. m³ Holzäquivalente erhöhen. Das entspricht einem Bedarfsanstieg auf nahezu 150%, während die Rohholzbereitstellung in der DDR nur auf etwa 140% anwachsen wird.

Die Nettoproduktion aller Wälder unseres Planeten bringt jährlich etwa 33 Mrd. t Kohlenstoff. Sie ist damit 370mal so groß wie der Chemiebedarf an Erdölkohlenstoff (rund 90 Mill. t). Der Holzeinschlag im Jahre 1974 entsprach indes nur 625 Mill. t Kohlenstoff, aber auch das war noch 7mal mehr, als die Chemie verbrauchte. Daraus geht hervor, daß zumindest ein Teil des von der chemischen Industrie benötigten Kohlenstoffs erforderlichensfalls auch durch die Biomassenproduktion unserer Wälder abgedeckt werden könnte. Unterstellt man jedoch für die Chemieindustrie entsprechend dem Erdölzuwachs eine Wachstumsrate von etwa 7%, dann würde man in 50 Jahren 2,65 Mrd. t Kohlenstoff benötigen. Das wären immerhin schon $\frac{1}{12}$ der gesamten Primärproduktion unserer Wälder, die sich allerdings ebenfalls noch erheblich steigern ließe.

Andere Pflanzenmassen außer Holz (z.B. Bagasse – ein Verarbeitungsrückstand von Zuckerrohr sowie Bambus, Schilf, Stroh) spielen als Rohstoffe bisher noch eine ganz untergeordnete Rolle. Im Weltmaßstab decken sie etwa 1% des Bedarfs an Fasermaterialien, im Fernen Osten aber schon die Hälfte. Ebenso hat sich der Einsatz dieser Biomassen in Lateinamerika sowie in Afrika und im Mittleren Osten stark erweitert. Neuerdings überlegen sogar Industrieländer (darunter die DDR), unter welchen technologischen und ökonomischen Bedingungen sie aus derartigen Rohstoffen z. B. Zellstoff gewinnen könnten, denn immer mehr und überall setzt sich die Auffassung durch:

Auch scheinbar »Wertloses« muß verwertet werden!

Die mit den heutigen Mitteln wirtschaftlich nutzbaren Rohstoffreserven der Erde werden immer kleiner. Gleichzeitig sind die »Exkrementen der Produktions- und Konsumtionsprozesse«, wie Karl Marx sagte, überall schnell im Wachsen begriffen. Zu diesen »Exkrementen« gehören feste, flüssige und gasförmige Abfallprodukte aller Industriezweige sowie Müll jeder Art. Angesichts der schwierigen Rohstoffsituation einerseits und der stetig größer werdenden Umweltgefährdung

durch alle möglichen Abprodukte andererseits, kann mit großer Sicherheit vorausgesagt werden, daß die immer vollkommenere und effektivere Ausnutzung derartiger Abprodukte für eine zukunftsorientierte Materialwirtschaft charakteristisch werden wird. Mit ihrer Wiedereinschleusung in den wirtschaftlichen Kreislauf erschließen wir Rohstoffquellen, die, solange es überhaupt eine Industrie gibt, nicht versiegen werden. Noch im Jahre 1973 wurden allein in der DDR Altstoffe im Werte von 700 Mill. M in den Müll geworfen. 10% des Altpapiers, 20% der Alttextilien, 60% des Altkautschuks, 50% der Thermoplastabfälle und 30% der Glasbehälter gingen auf diese Weise verloren. Unsere Chemieindustrie produziert jährlich mehrere Millionen Tonnen Abfallprodukte, von denen gegenwärtig noch keine 10% genutzt werden, obwohl ein Verwertungsgrad von mindestens 25% für möglich gehalten wird.

Bei den Metallen liegt die Rückführungsquote schon relativ hoch. Etwa die Hälfte der Weltstahlproduktion und 20 bis 60% des Bedarfs an wichtigen Nichtmetallen basieren auf Schrott.

Von der in den Wäldern potentiell gewinnbaren Fasermasse wird bisher nur wenig mehr als die Hälfte genutzt. Der »Rest« verbleibt in Gestalt von Rinden, Wurzeln, Ästen und Kronen im Walde, oder er füllt in Form von Säge- und Hobelspänen die Abraumhalden der Holzindustrie. In der Zellstoffproduktion gehen nicht weniger als 50% der eingesetzten Holzsubstanz (entsprechend 55% des Kohlenstoffs) verloren, so daß sich am Ende nur ein Viertel der gesamten Baumbiomasse im Zielprodukt wiederfindet. Das bedeutet bei einer Weltjahresproduktion von ungefähr 100 Mill. t Zellstoff einen Verlust von 55 Mill. t Kohlenstoff. Davon sind 19,5 Mill. t in aromatischen Verbindungen fixiert, aber die Chemie klagt weltweit über eine Aromatenlücke! Angesichts derartiger Verluste und unter dem Druck einer zunehmenden Holzverknappung, bemüht man sich in allen Holzländern verstärkt darum, die gesamte produzierte Biomasse zu verarbeiten, besonders um daraus Platten, Hochausbeutefaserstoffe, Aktivkohle, Eiweiß und »Waldchemikalien« verschiedener Art zu erzeugen. Aus denselben Gründen ist auch die Wiederverwendung des

Altpapiers sehr wichtig, denn immerhin ersparen 50 000 t dieses oft noch mißachteten Materials etwa 120 000 Schichtfestmeter Holz und damit den Einschlag von rund 500 ha Wald!

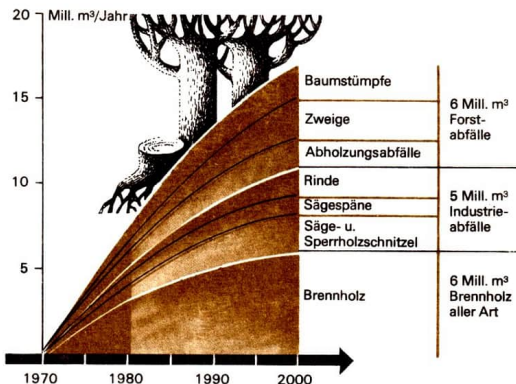
Alttextilien enthalten neben Zellulose in zunehmendem Maße Synthesefasern. Sie lassen sich dadurch schwerer aufbereiten, und es bedarf neuer Lösungen, um diese Materialien möglichst vollständig in den Stoffkreislauf zurückführen zu können.

Ein beachtliches Potential stellen die in der DDR bei der Kohleverbrennung entstehenden 20 Mill. t Aschen und Schlacken dar. Sie werden bisher zu weniger als 20% genutzt. Ihre Beseitigung aber kostet uns jährlich mindestens 100 Mill. Mark. Einen Teil dieser Aschen kann man als Zuschlagstoffe für Zement und für andere Zwecke verwenden. So ersetzen 1,3 t Braunkohlenfilterasche, die aus dem Rauchgasstrom abgeschieden werden, 1 t Zement. Bei der Suche nach neuen Verwertungsrichtungen sollte man beachten, daß Braunkohlenasche 5 bis 30% Eisenoxide enthält. Bläst man durch die auf etwa 1000 °C erhitzte Asche Chlorwasserstoffgas, so verflüchtigen sich die gebildeten Eisenchloride. Beim Abkühlen auf etwa 500 °C scheiden sich wieder Eisenoxide ab, während das freigesetzte HCl-Gas erneut verwendet werden kann. So lassen sich verüttungsfähige Eisenkonzentrate gewinnen. Könnte man die Lausitzer Kraftwerksaschen auf diese Weise nutzen, wäre es möglich, auf den Import von 200 kt Eisenerz zu verzichten. Braunkohlenaschen enthalten aber auch noch etwa 30% Kalk und beträchtliche Mengen verkohlter Restkohle. Da Eisenerz, Kalk und Koks die Hauptrohstoffe für die Eisenmetallurgie sind, wäre es sinnvoll, sich verstärkt um die Entwicklung von kombinierten Verfahren zur Erzeugung von Roheisen und silikatischen Baustoffen aus diesen Sekundärmaterialien zu bemühen.

Lohnende Einsatzgebiete müssen in der Zukunft auch für die großen Mengen an Kalk- und Gipsschlämmen sowie für das nicht vollständig inkohlte Holz unserer Braunkohlentagebaue erschlossen werden.

Die Magnesiumchloridlauge aus der Kaliindustrie bilden ein ernstes Problem für die Abwasserwirtschaft. Versuche, unsere Stra-

Mögliche Erhöhung der Holznutzung, dargestellt am Beispiel Finnlands. Die Nutzbarkeit der ausgewiesenen Holzreste für die Zellstoff-, Platten-, Verklebung- und die Verzuckerungsindustrie ist bereits mehrfach nachgewiesen worden.



ßen damit im Winter eisfrei zu halten, führten zu jährlichen Korrosionsschäden in Höhe von 700 Mill. Mark. Demgegenüber bietet sich an, aus diesen Lösungen Magnesium zu gewinnen, das in anderen Ländern sogar aus Meerwasser mit einem wesentlich geringeren Metallgehalt erzeugt wird.

Von den verbrauchten Altölen wurde 1974 in der DDR nur ein Viertel in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt, obwohl 36% als möglich eingeschätzt worden sind. Unsere Zielstellung ist, jedes Jahr 105 bis 110 kt Altöle an die chemische Industrie zurückzugeben. Daraus werden sich insgesamt etwa 75 kt hochwertiger Schmierölkompontenten herstellen lassen, die man ansonsten aus 700 kt Erdöl erzeugen müßte.

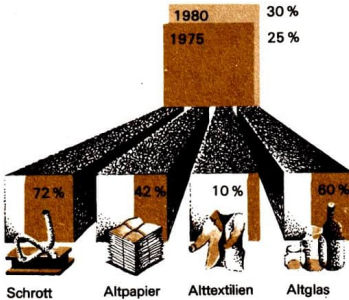
Ein ebenso schwieriges wie dringliches Kapitel ist die bisher nur teilweise gelöste Wiederverwendung von Kunststoffen. In der DDR wird angestrebt, bis 1980 alle industriellen Plastabfälle restlos zu erfassen, während die Rückführung der in den Haushalten anfallenden Mengen problematisch bleibt. Thermoplaste wie Polystyrol und Polyvinylchlorid sollen vorrangig in den Anfallbetrieben wieder eingesetzt werden. Sie lassen sich bereits vielseitig nutzen (z.B. als Fußbodenbeläge, Kabelkanalrohre usw.). Komplizierter ist die Verarbeitung von Duroplastabfällen z.B. aus Polyurethanen

oder verschiedenen Kunstharzen. An der Lösung dieses Problems wird deshalb in vielen Industrieländern intensiv gearbeitet.

Als eine wichtige Aufgabe für Chemiker und Biologen ist schließlich auch die Entwicklung neuer Methoden zur Verwertung der in großen Mengen anfallenden Abprodukte aus den Betrieben der industriellen Tierproduktion zu erwähnen. Allein in der DDR rechnet man im Jahre 1990 schon mit ungefähr 60 Mill. t Gülle bei einem Trockengehalt von 8%.

Natürlich erfordert die Erfassung und Verarbeitung von Altmaterialien und Abfällen beträchtliche Investitionen. Aber die Wiederverwendung ist auf die Dauer trotzdem billiger als der Einsatz von Primärrohstoffen. Altmaterialien erneut zu verwenden ist deshalb kein Zeichen einer »Armeleutewirtschaft«, sondern ein Gebot der wirtschaftlichen Vernunft. Das gilt besonders für hochindustrialisierte kleine Länder wie die DDR. Zwar liegt unsere Republik mit einer jährlichen Rohstoffextraktion von ungefähr 3000 t/km² mit an der Spitze aller bergbaubetriebenden Länder, aber im Hinblick auf das Rohstoffaufkommen aus eigenen Vorräten stehen wir erst an 90. Stelle in der Weltrangliste.

Pro Kopf und Jahr verbrauchen wir Rohstoffe im Werte von etwa 1000 M. Der Anteil des Materials an den Gesamtkosten unserer Produktion liegt im Durchschnitt bei 50 bis



Verwertungsgrad wichtiger Sekundärrohstoffe 1975 und 1980 sowie Anteil ausgewählter Sekundärrohstoffe am jährlichen Rohstoffverbrauch der entsprechenden Industriezweige Mitte der 70er Jahre in der DDR.

60%, in manchen Betrieben sogar zwischen 80 und 90%! Unsere Warenproduktion wächst jährlich etwa um 6%, das Rohstoffaufkommen aber nur um 3%. Daraus folgt, daß der planmäßige Produktionszuwachs nur gesichert werden kann, wenn mindestens die Hälfte des Bedarfsanstieges bei Rohstoffen durch materialökonomische Aktivitäten

Tabelle 3. Hauptwege des ökonomischen Materialeinsatzes

Materialsubstitution
Standardisierung
materialsparendes Konstruieren und Bauen
materialsparende Technologien und Verfahren
rationelle Energieanwendung
Nutzung einheimischer und sekundärer Rohstoffe
verbesserter Korrosionsschutz
Reduzierung von Abfällen und Verlusten

erbracht wird. Deshalb gilt es, unter Berücksichtigung gesamtökonomischer Kriterien überall einen möglichst hohen Anteil der verfügbaren Rohstoffe zu nutzen. Beispielsweise kann man aus Kupferschiefererzen nicht nur Kupfer, sondern auch Blei, Zink, Selen und andere Elemente gewinnen. Die wirtschaftliche Ausnutzung unserer praktisch unerschöpflichen Karnallitvorräte wird überhaupt erst mit einer Stoffwirtschaft möglich werden, die alle verwertbaren Komponenten erfaßt. Letzten Endes kommt es darauf an, materialsparende Stoffkreisläufe zu entwickeln, bei denen es nur Haupt- und Nebenprodukte, aber (fast) keine Abfälle mehr gibt.

Schließlich muß der Materialaufwand pro Einheit der industriellen Warenproduktion mit der Zielvorgabe 2 bis 3% im Jahr auch durch materialsparende Konstruktionen gesenkt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wird es sich nicht umgehen lassen, möglichst viele unserer Erzeugnisse einer gründlichen Abmagerungskur zu unterwerfen. Ebenso ist auch die Erhöhung von Lebensdauer und Qualität unserer Produkte ein wirksames Mittel, um den Rohstoff- (und Energie-) bedarf zu senken.

Natürlich werden wir alle Anstrengungen unternehmen, um unser einheimisches Potential bestmöglich zu nutzen. Trotzdem wird für die DDR auch immer der Import eine große Rolle spielen. Deshalb ist es von entscheidender Bedeutung, daß unsere Wirtschaft durch die enge Kooperation mit den RGW-Ländern konstant und stabil mit Rohstoffen versorgt wird. Das schließt selbstverständlich auch die Energieträger mit ein, denn ohne jede Abstriche gilt der Satz:

Keine Chemie ohne Energie!

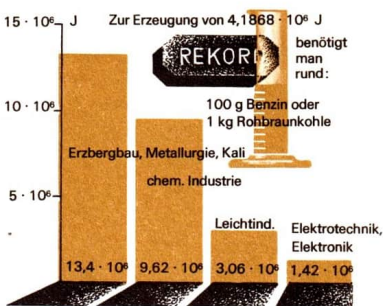
Die Entwicklung der chemischen Produktion ist auf das engste mit den Fortschritten der Energieerzeugung verknüpft, denn jeder chemische Prozeß ist untrennbar mit energetischen Umsetzungen – teils mit Energieverbrauch, teils mit Energiefreisetzung – verbunden. Chemischer Prozeß und energetische Wandlung bilden sozusagen eine Einheit. So wird der weitaus größte Teil der von der

Menschheit produzierten Energie mit Hilfe eines chemischen Prozesses, nämlich durch die Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle, gewonnen. Darüber hinaus sind viele aktuelle Probleme der Umwandlung von Licht- und Wärmeenergie in Elektrizität nur mit Hilfe der Chemie zu lösen. Moderne Energieerzeugungsanlagen sind ohne hochwertige temperaturbeständige Werkstoffe undenkbar. Aus diesem Grund erwacht dem Werkstoffchemiker für den weiteren Fortschritt der Energiewirtschaft eine große Verantwortung.

Die Bereitstellung reichlicher Mengen billiger Energie ist also nicht nur eine Voraussetzung für die Entwicklung der Chemie, sondern zugleich auch eines ihrer Tätigkeitsfelder. Deshalb gilt mit vollem Recht auch die Umkehrung unserer Kapitelüberschrift, nämlich: Keine Energie ohne Chemie!

Die erste Dampfmaschine baute James Watt in England. Das war in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts. Aber im Wettstreit mit den Dampfentwürfen der Anfänge blieb das Wasserrad noch lange überlegen. Erst in der Epoche des vormonopolistischen Kapitalismus wurde die Dampfmaschine zum bestimmenden Energieerzeuger. Den entscheidenden Fortschritt brachte jedoch die Elektroenergie. Zunächst kamen galvanische Elemente mit geringer Leistung in Gebrauch. Auf der Suche nach besseren Stromquellen für Telegrafienleitungen entdeckte Werner Siemens 1866 das dynamoelektrische Prinzip. Damit war das Tor zu technischen Entwicklungen aufgestoßen, von denen man früher nicht einmal zu träumen wagte.

Der jüngere Watt nahm schon in der Mitte des 19. Jahrhunderts zahlreiche Patente zur Gewinnung chemischer Erzeugnisse mit Hilfe des elektrischen Stromes. Aber kein Wirtschaftler konnte auch nur im entferntesten daran denken, chemische Produkte mit Hilfe von Elektrizität zu gewinnen. Diese Energieart war dafür noch viel zu teuer und obendrein nur in geringen Mengen verfügbar. So kosteten die von Bunsen in der Mitte des vorigen Jahrhunderts auf elektrochemischem Wege erzeugten Metalle Aluminium und Magnesium mehr als Gold und Platin! Erst die Dynamomaschine brachte hier einen Wandel. Ihre praktische Bewährung in der chemischen

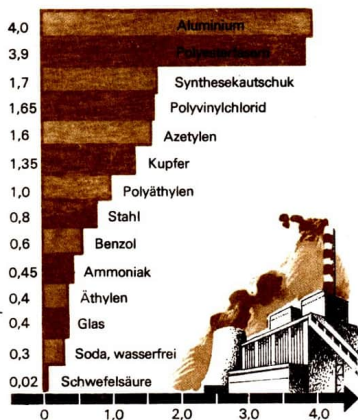


Energieverbrauch in Joule je Mark Warenproduktion in verschiedenen Industriezweigen der DDR (Stand 1974/1975).

Industrie ermöglichte nicht nur eine erweiterte Produktion, sie führte auch zu einer raschen Verbesserung der Maschine selbst. Der dadurch billiger erzeugte elektrische Strom wiederum verschaffte der Chemie einen gewaltigen Auftrieb.

Der Siegeszug der Elektrizität durch die Chemiefabriken führte dazu, daß die schon bekannte Spaltung von chemischen Verbindungen durch den elektrischen Strom nunmehr im großen Maßstab realisiert werden konnte. Die Umwandlung der Elektrizität in Wärme erschloß den bis dahin nicht zugänglichen Temperaturbereich zwischen 1500 und 3500 °C. Dies aber war die Voraussetzung, um zahlreiche Metalloxide mit Kohle zu Metallen reduzieren zu können, so daß damit viele neue metallische Werkstoffe zugänglich wurden. Dabei fand man auch ursprünglich auf der Erde nicht vorkommende Metall-Kohlenstoff-Verbindungen, nämlich die Karbide. Von hier aus eröffneten sich ganz neue Horizonte, die über das Acetylen unter anderem auch in das weite Feld der Kunststoffe führten.

Heute ist die chemische Industrie zu einem der energieintensivsten Industriezweige überhaupt geworden. So werden beispielsweise zur Herstellung einer Tonne Kalziumkarbid oder Chlor nicht weniger als 3500 kWh verbraucht. Die Karbidproduktion der DDR



Energieaufwand bei der Erzeugung verschiedener Stoffe, ausgedrückt in Tonnen Rohöl je Tonne Produkt (Umrechnung für Öläquivalente: 42 Gigajoule/kg Öl).

schluckt 6 bis 7% unserer gesamten Elektroenergie. Der Energieverbrauch bei der Aluminium- und Magnesiumherstellung beträgt sogar 14 000 bis 18 000 kWh/t. Danach ist es kein Wunder, daß die Energie an den Gesamtkosten stoffwirtschaftlicher Verfahren im Durchschnitt mit 18 bis 25% beteiligt ist. Beim Kalziumkarbid entfällt fast die Hälfte der Selbstkosten auf die Energie, bei Polyvinylchlorid (PVC) und Polyäthylen sind es 35 bis 50% und beim Azetaldehyd sogar 45 bis 70%! Mit jeder Tonne Düngemittelstickstoff werden etwa 14 000 kWh (!) in den Boden hineingesteckt. Allein für die Stickstoffdüngung unserer Republik muß deshalb eine Energiemenge erzeugt werden, die dem Äquivalent von 3 bis 4 Mill. t Braunkohle entspricht. Der Elektroenergieverbrauch je 1000 Mark industrieller Warenproduktion liegt für Chemikalien 2- bis 10mal höher als bei Produkten aus anderen Industriezweigen. Die Chemie beansprucht nicht weniger als ein Drittel des Elektroenergieverbrauchs unserer Industrie bzw. ein Viertel der gesamten Lan-

desproduktion. Der Grundfondsanteil der Energieerzeugung in der chemischen Industrie liegt bei 30%, und 5 bis 10% aller Beschäftigten in einem Chemiekombinat arbeiten im Bereich der Energiebereitstellung!

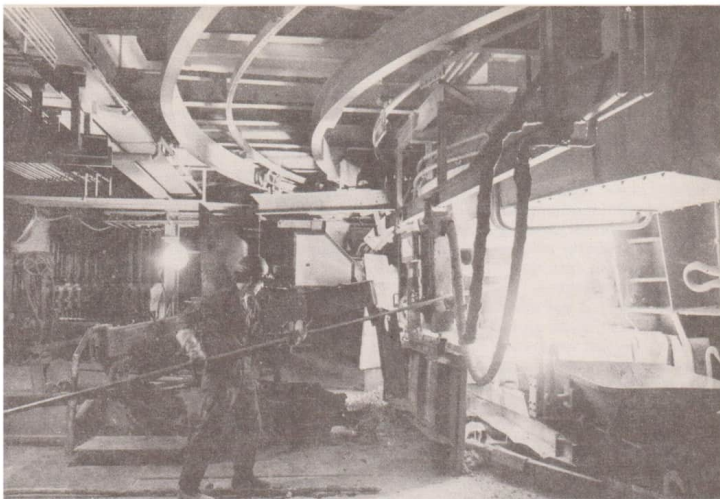
Aus alledem folgt die gewaltige Bedeutung der Energiewirtschaft für die Chemie. Die rasche Entwicklung der stoffwandelnden Industrie erfordert somit ein entsprechendes Wachstum der Energieproduktion, zugleich aber auch einen zunehmend rationelleren Energieeinsatz. Dieser jedoch fängt an beim

Kampf um Wirkungsgrade und Verluste

Zur Zeit werden noch immer rund 95% des Gesamtenergiebedarfs der Welt aus der in den fossilen Brennstoffen (Erdöl, Erdgas und Kohle) gespeicherten chemischen Energie mit Hilfe der Verbrennung gewonnen. Die Verbesserung des Wirkungsgrades dieser Energieumwandlung (also eine günstigere Gestaltung des Verhältnisses von Nutzleistung zu aufgewandter Leistung) ist deshalb sehr wichtig. Mit Urgroßvaters Dampfmaschinen wurden Wirkungsgrade von 2 bis 5% erreicht. Großvater schaffte um die Jahrhundertwende schon 10%. Und wir? Wir liegen mit den meisten Großkraftwerken wenig höher als 30%. Mit anderen Worten: Von jeder Tonne Kohle, Öl oder Gas, die wir in unseren Kraftwerken einsetzen, verwenden wir noch immer 700 kg, um Wasser, Luft und Apparateile aufzuheizen! Daraus folgt, daß man den klassischen Formen der Energiegewinnung auch in der Zukunft noch große Aufmerksamkeit widmen muß.

In den letzten Jahren ist es gelungen, den Wirkungsgrad der besten Anlagen bis auf Werte um 40% zu erhöhen. Die noch vorhandenen Reserven erschöpfen sich jedoch in einigen technologischen Verbesserungen und in der systematischen Optimierung aller leistungsbestimmenden Kraftwerkparameter mit Hilfe der modernen Rechentechnik. Das Ergebnis dieser Bemühungen wird mager sein. Aus thermodynamischen Gründen ist mit einem Anstieg des Wirkungsgrades auf nicht viel mehr als etwa 44% zu rechnen.

Einen wesentlich höheren Wirkungsgrad (nämlich etwa 65%) verspricht man sich von



Karbid aus Kalk und Kohle ist in der DDR nach wie vor ein wichtiges Ausgangsprodukt für die Kunststoffchemie. Vor dem Karbidofen.

einigen in der Entwicklung befindlichen Verfahren zur Direktumwandlung der Wärme in Elektrizität, vor allem vom magnetohydrodynamischen (MHD-) System. Dabei strömt ein ionisiertes Gas von 3000°C durch ein Magnetfeld. Die freien Ionen werden von Elektroden »aufgenommen«, so daß ein Stromfluß zustande kommt. Das Gas hat beim Verlassen des Magnetfeldes noch 1000°C. Es wird zur weiteren Elektrizitätserzeugung über eine Gasturbine geleitet. Mit einer großtechnischen Nutzung des MHD-Verfahrens kann wahrscheinlich schon in der zweiten Hälfte der 80er Jahre gerechnet werden.

Aus der Sicht des Chemikers ist interessant, daß bei der Muskeltätigkeit in lebenden Organismen chemische Energie direkt in mechanische Energie umgewandelt wird. Versuche zur Nachahmung dieses Naturprinzips im Labor waren erfolgreich. So ist es gelungen,

Plastefolien zu entwickeln, die sich bei der Einwirkung von Laugen auf die doppelte Länge und das 8fache Volumen ausdehnen und unter dem Einfluß von Salzsäure wieder zusammenziehen. Sie vermögen dabei eine Last zu heben und zu senken. Für das Auslösen einer wechselweisen Kontraktion und Entspannung eignen sich besonders auch Kollageneiweißfasern zusammen mit Salzlösungen unterschiedlicher Konzentration. Sie wurden im Labor bereits für die Konstruktion von Modellmaschinen verwendet. Eine technische Realisierung, noch dazu etwa mit solch extrem billigen Treibmitteln wie Süß- und Salzwasser, ist aber in diesem Jahrhundert nicht mehr zu erwarten.

Demgegenüber viel weiter fortgeschritten sind die Bemühungen, chemische Energie direkt in Elektrizität umzuwandeln, über die im Kapitel »Neue Verfahren — neue Produkte« noch berichtet wird.

Große Verluste entstehen aber nicht nur bei der Energiegewinnung, sondern auch bei der Energieübertragung. Mit der Bereitstellung geeigneter supraleitender Materialien kann

die Chemie wesentlich dazu beitragen, diese Ausfälle zu reduzieren. Supraleiter sind spezielle (zumeist metallische) Stoffe, in denen der Strom bei der Temperatur des flüssigen Heliums (-253°C) sozusagen »tiefgekühlt« fast ohne Widerstand geleitet werden kann. Selbst unter Berücksichtigung des erheblichen Energieaufwandes für die Kühlung läge ihr Wirkungsgrad noch bei 99,5%. Vielleicht wird man aber eines Tages auch Supraleiter finden, die noch bei Zimmertemperatur wirksam sind. So oder so könnten sie die großen Umspannanlagen überflüssig machen und die Übertragung von Leistungen in Höhe von 20 000 MW ermöglichen.

Schließlich und vor allem ist die Anwendung der Energie mit großen Verlusten verbunden. Das gilt besonders für chemische Prozesse, deren energetischer Wirkungsgrad oft noch sehr gering ist. Bei der Ammoniaksynthese z. B. liegt er in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial für die Wasserstoffgewinnung noch immer nur zwischen 25 bis 42%, obwohl der Energiebedarf in den letzten 60 Jahren auf weniger als 50% des ursprünglichen Wertes gesenkt worden ist! Bei der üblichen Vinylchloridherstellung beträgt er 12% und bei der NO-Synthese gar nur 5 bis 6,5%. Hochtemperaturprozesse ($> 400^{\circ}\text{C}$), auf die 1970 in der DDR 27,6% der gesamten Gebrauchsenergie entfielen, arbeiten im Durchschnitt mit 68% Energieverlusten!

Diese Tatbestände haben nicht nur objektive Ursachen. Traditionsgemäß befassen sich nämlich die Chemiker viel stärker mit der Stoffwandlung als mit Problemen der Energiebilanz. Im Ergebnis sind die energetischen Wirkungsgrade zahlreicher Verfahren meist viel schlechter als die Rohstoffausbeuten, die nicht selten zwischen 80 und 95% liegen. Vielleicht ist das Energiebewußtsein vieler Chemiker (und nicht nur vieler Chemiker) bei uns doch noch verbesserungsbedürftig? Dies könnte zumindest teilweise auch erklären, warum der spezifische Energieaufwand in der chemischen Produktion unseres Landes Anfang der 70er Jahre noch 20% über dem anderer fortgeschrittener Industrieländer lag. Dieser Zustand kann nicht befriedigen, denn mehr Energie zu verbrauchen, als unbedingt benötigt wird, ist Verschwendung. Und die können wir uns nicht leisten!

Über zwei Drittel der in der chemischen Industrie verbrauchten Energiemengen werden in Form von Wärme eingesetzt. Das spielt vor allem bei älteren Anlagen eine Rolle. Man bedenke, daß schon ein einziges, während eines Jahres nicht wärmegeschütztes Ventil bei einer Temperatur von 300°C Wärmeverluste verursacht, die ausreichen würden, um eine Wohnung einen ganzen Winter lang voll durchzuheizen!

In den nächsten Jahren müssen die energetischen Wirkungsgrade von Prozessen und Apparaten systematisch erhöht werden. Dazu gehört eine verbesserte Reaktionsführung (z. B. durch Einführung kontinuierlicher Technologien, durch eine Reduzierung der Prozeßstufenzahl, durch Verlegen der Reaktionsbedingungen in die Nähe von Umgebungsdruck und -temperatur sowie durch stufenweisen Abbau von Potentialdifferenzen zwischen Anfangs- und Endzuständen nach dem Vorbild biochemischer Prozesse), aber auch die Anwendung neuer Wirkprinzipien. So denkt man nur selten daran, daß das technisch hochentwickelte Rektifikationsverfahren¹ zur Trennung von Flüssigkeitsgemischen einen miserablen energetischen Wirkungsgrad von 6 bis 15% hat. Trennprozesse auf der Basis von Membranen (Permeation), Selektivabsorption und Adduktbildungsverfahren² könnten hier zu wesentlichen Fortschritten führen. Auch die energieaufwendigen Eindampfprozesse zum Aufkonzentrieren von Lösungen lassen sich mit Hilfe von Permeation oder Thermoosmose zukünftig vielleicht effektiver gestalten.

Die üblicherweise in der Chemie verwendeten indirekten Wärmeübertrager aus Metall sind energetisch ebenfalls stark verbesserungswürdig. Deshalb ist zu erwarten, daß der Einsatz großer Kolonnen zur direkten »Wärmeextraktion« im System flüssig-flüssig

1 Rektifikation: Wiederholte Destillation (Gegenstromdestillation) von Flüssigkeitsgemischen mit geringen Siedepunktsdifferenzen, um hohe Reinheit zu erreichen, wie das z. B. bei der Spiritusherstellung erforderlich ist.

2 Adduktbildungsverfahren: Beruhen auf der Bildung von Additionsverbindungen durch Zusammenlagerung von Neutralkmolekülen oder Anlagerung von Ionen an neutrale Moleküle. Der Vorgang ist reversibel.

größere Bedeutung erlangen wird, denn dabei ist die spezifische Wärmeübertragung 8mal größer. So ließe sich beispielsweise die Wärmeenergie eines Frischwasserkondensates mit Öl extrahieren und in einem zweiten Kreislauf verlustarm auf ein anderes Medium (z.B. Meerwasser, das zwecks Entsalzung verdampft werden soll) übertragen.

Ausgesprochene Energiefresser im Chemiebetrieb sind Gebläse, Kompressoren, Zerkleinerungsanlagen und andere mechanisch wirkende Maschinen. Die energiegerechtere Konstruktion derartiger Aggregate kann deshalb die Gesamtenergiebilanz chemischer Prozesse wesentlich verbessern.

Zu den energieökonomischen Bemühungen im weiteren Sinne zählt schließlich auch die Suche nach Mitteln und Wegen, die in den Rohstoffen vorgebildeten Strukturen besser auszunutzen. Beispielsweise werden bei der üblichen Methode der chemischen Erdölverarbeitung die Ausgangsmoleküle zunächst durch Hitze zerschlagen. Dann isoliert man die Spaltprodukte in reiner Form. Schließlich werden sie zum gewünschten Produkt zusammengebaut. Es ist einleuchtend, daß es besser wäre, möglichst viele der vorgebildeten Strukturen unmittelbar zu verwenden. Ein Beispiel dafür bietet das in der DDR entwickelte Parex-Verfahren, bei dem Normalparaffine (C_{10} bis C_{22}) für die Produktion von biologisch abbaubaren Waschmitteln, Emulgatoren und Proteinkonzentraten (anstatt auf dem Umweg über das Äthylen) direkt aus dem Erdöl mittels Adsorption an synthetischen Zeolithen (Molekularsieben) gewonnen werden.

Neben der energetischen Rationalisierung der chemischen Produktionsverfahren selbst hat die chemische Industrie in den nächsten Jahren große Aufgaben bei der Rekonstruktion der Kraft- und Heizwerke zu lösen, von denen in der DDR mehr als die Hälfte ein Alter von über 25 Jahren besitzt. Dabei sollte nicht übersehen werden, daß der Investaufwand zur Installation eines Kilowatts (oder der äquivalenten Wärmeleistung) in einem Kraftwerk doppelt so hoch ist wie zur Freisetzung dieser Leistung durch Rationalisierung des Verbrauchs!

Aus alledem folgt, daß die Beschränkung der energetischen Bilanzierung auf den che-

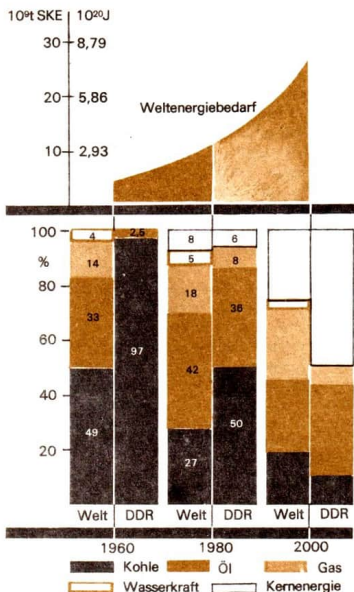
mischen Prozeß allein zu mißweisenden Ergebnissen führen kann. Um volkswirtschaftlich richtige Schlußfolgerungen zu ermöglichen, muß man den insgesamt erforderlichen Energieaufwand von der Rohstoffgewinnung bis zum Endprodukt untersuchen. Daraus ist die Forderung abzuleiten, zukünftig in stärkerem Maße stoff- und energiewirtschaftlich geschlossene Technologien mit optimierten Material- und Energieverbrauchsnormen zu entwickeln.

Natürlich können wir mit unseren Bemühungen nicht erst auf neue Anlagen und Verfahren warten. Schon heute muß in allen Betrieben der Energieaufwand durch eine optimale Prozeßführung, durch Nutzung der Abwärme, durch bessere Isolierungen, durch gute Dampf- und Kondensatwirtschaft sowie andere geeignete Maßnahmen kontinuierlich reduziert werden, denn die zielstrebige Mobilisierung energiewirtschaftlicher Reserven ist zu einer vordringlichen Aufgabe für alle Bereiche der stoffwandelnden Industrie geworden.

Energieformen im Wettlauf

Das Energieaufkommen ist bei fortwährendem Wachstum einem ständigen Wandel unterworfen. Eine besonders starke Umschichtung kann man in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts beobachten. Sie ist charakterisiert durch die Erhöhung des Anteiles an flüssigen und gasförmigen Brennstoffen auf Kosten der Kohle. Die chemische Energie der fossilen Brennstoffe wird sich jedoch als Hauptquelle zur Befriedigung unseres Energiebedarfs mit Sicherheit auch noch um die Jahrtausendwende behaupten.

Wasser bleibt ohne wesentlichen Einfluß auf die Weltenergiebilanz. Trotzdem ist die billige Wasserkraft für die großen Energiefresser der stoffwandelnden Industrien, wie Aluminium, Stahl, Karbid, Natronlauge, seltene Metalle usw., ein idealer Partner. Schon heute sprechen für die Effektivität dieser Kombination eine ganze Reihe interessanter Beispiele insbesondere aus den USA, Kanada und aus der Sowjetunion. In der Zukunft wird die Tendenz zur engen Kombination insbesondere von elektrochemischer Industrie und



Absolute und relative Strukturveränderungen im Primärenergieaufkommen der Welt und der DDR. Ein durchgängiger Entwicklungstrend besteht darin, daß das Aufkommen an Elektroenergie schneller ansteigt als der Bedarf an Primärenergie.

Wasserkraft an den großen Flußgebieten der Erde immer deutlicher hervortreten.

Der eigentliche Ursprung aller auf der Erde nutzbaren Energie (mit Ausnahme der Kernenergie) ist die Sonne. In jeder Sekunde strahlt sie $2,86 \cdot 10^{33}$ kW in das Weltall. Nur zwei Millionstel Promille (0,000002%) erhält die Erde von diesem Überschuß, und trotzdem reicht das aus, um unseren Himmelskörper zu einem lebenserfüllten Planeten zu machen. In drei Tagen bekommt die Erde von der Sonne soviel Energie, wie man durch die Verbrennung aller unserer Vorräte an Kohle, Gas, Öl und Holz erhalten würde. Danach ist klar, daß

die Sonne alle Energiewünsche der Menschheit erfüllen und übererfüllen könnte, wenn man nur wüßte, wie das zu bewerkstelligen wäre!

Die bisher entwickelten Sonnenenergieanlagen gehören allesamt noch in das Gebiet der »Kleinenenergetik«. Für den Chemiker und Physiker ist interessant, daß manche Sonnenöfen dazu benutzt werden, das Verhalten verschiedener Werkstoffe bei Temperaturen bis 3800°C zu studieren. Dies bietet gegenüber anderen Wärmequellen den Vorteil, daß die heiße Zone eine größere Ausdehnung hat und Schmelzen von höchster chemischer Reinheit hergestellt werden können. Die technische Nutzung der Sonnenenergie für chemische Zwecke ist aber noch lange nicht praktikabel. Dazu sind die erreichten Leistungen viel zu gering. Außerdem ist eine Umwandlung der Sonnenenergie in die universell anwendbare und leicht transportable Elektrizität erforderlich, denn ein Sonnenkraftwerk wird man schon allein aus Standortgründen nur in den seltensten Fällen mit einem industriellen Großverbraucher koppeln können. Man braucht also geeignete Energiewandler. Für diesen Zweck haben sich Halbleiterfotoelemente aus Siliziumplättchen bewährt, die auf Grund des lichtelektrischen Effektes Sonnenenergie in elektrische Energie umwandeln können. Ihr Wirkungsgrad liegt zur Zeit erst bei etwa 15%. Man hofft ihn jedoch auf 30 bis 40% erhöhen zu können. Die Investkosten pro Kilowatt sind aber gegenwärtig noch etwa 1000mal höher als bei konventionellen Kraftwerken.

Eine weitergehende und auf lange Sicht vielleicht sogar die billigste Möglichkeit zur Ausnutzung der Sonnenenergie bietet die Nachahmung der Fotosynthese. Die Primärphase dieses Prozesses, nämlich das photochemische Zerlegen des Wassers in seine Elemente, ist bereits außerhalb der Pflanzenzelle im Labor nachvollzogen worden. Der dabei entstehende Wasserstoff wird als aussichtsreicher Energieträger beurteilt. Mit 33 kWh/kg hat er von allen Stoffen die höchste Energiedichte, die beim Kohlenstoff vergleichsweise nur 9,1 kWh/kg beträgt, und er kann in Brennstoffzellen (vgl. S.115) ohne Umwege in Elektroenergie umgewandelt werden. Man erörtert deshalb bereits um-

fangreiche Projekte zum Aufbau von Wasserstoffpipelines als zukunftssträchtige Variante des Energietransports.

Die Wärmeverräte der Erdrinde bis 10 km Tiefe übertreffen zwar den Heizwert aller Brennstoffe unseres Planeten um das 5000fache, aber ihr Beitrag zum Weltenergieaufkommen wird bis zur Jahrtausendwende minimal bleiben. Immerhin ist aus Island und der UdSSR bekannt geworden, daß Erdwärme nicht mehr nur wie bisher zur Wärmeversorgung von Häusern, sondern auch zur Elektroenergieproduktion und versuchsweise sogar für die Versorgung chemischer Anlagen genutzt werden soll.

Die Grundtendenz der gegenwärtigen Strukturwandlung in der Energiebereitstellung ist jedoch ohne Zweifel das weitere Vordringen der Kernenergie, denn 1 kg Uran-235 liefert bei seiner Spaltung 24 Mill. kWh, was nahezu dem Energieinhalt von 3000 t Steinkohleneinheiten entspricht. Damit ist die Energieausbeute fast dreimillionenmal so groß wie bei einem Kilogramm Steinkohle und zirka siebenmillionenmal so groß wie bei einem Kilogramm Braunkohle. Schon ab 1980 werden Kernbrennstoffe den entscheidenden Beitrag des Bedarfszuwachses vor allem an Elektroenergie leisten. Um die Jahrtausendwende soll dann die Hälfte der gesamten Elektroenergie in Kernkraftwerken erzeugt werden. Langfristig dürfte ihr Beitrag zur Stromerzeugung auf über 90 % ansteigen.

Die weitere Erschließung der Kernenergie wird der Chemieproduktion einen großen Auftrieb geben. Bereits in den 80er Jahren könnte die elektroenergieintensive Gewinnung von Primärchemikalien mit preisgünstigem Strom aus Kernkraftwerken erfolgen. Dadurch werden sich besonders die Ausichten vieler Elektrolyseprozesse verbessern. Aus Kernenergie kann aber auch Prozeßwärme erzeugt werden, für die sich schon heute eine große Zahl technisch interessanter

chemischer Verfahren als Verbraucher anbietet.

Im Gegensatz zu den kohlenstoffhaltigen Energieträgern, die auch als Rohstoffe für die chemische Industrie von zentraler Bedeutung sind, ist das Uran fast nur für die Energieerzeugung wichtig. Die in konventionellen Kernreaktoren allein verwertbaren, leicht zugänglichen Festlandsvorkommen an spaltbarem Uran-235 werden bei einer weltweiten Anwendung voraussichtlich schon nach hundert Jahren zur Neige gehen. Mit dem für die Mitte der 80er Jahre erwarteten Durchbruch der »Schnellen Brutreaktoren« wird man jedoch auch die häufigeren stabilen Elemente Uran-238 und Thorium-232 für die Kernspaltung erschließen können, weil sie im Brutreaktor bei gleichzeitiger Energieproduktion in spaltbares Plutonium-239 bzw. Uran-233 umgewandelt werden. Die in der Zeiteinheit »erbrütete« Spaltstoffmenge ist dabei größer als die verbrauchte. Es ergibt sich also die interessante Perspektive einer erweiterten Brennstoffreproduktion. Dadurch werden sich die nutzbaren Spaltstoffvorräte auch ohne das Meerwasseruran noch einmal um das 100- bis 200fache erhöhen, so daß die Energieversorgung der Menschheit mit Hilfe der Kernenergie noch einige Jahrtausende gesichert werden kann.

Trotzdem sollte man im Interesse einer verantwortungsbewußten Energie- und Brennstoffpolitik in den nächsten Jahrzehnten jede Einseitigkeit bei der Erschließung von Energieressourcen vermeiden. Dementsprechend bemühen sich die sozialistischen Länder um eine rationelle Ausbeutung aller verfügbaren Energieträger. Dadurch wird es möglich sein, die für die Entwicklung der stoffwandelnden Industrie so außerordentlich bedeutsame Stabilität und Effektivität der Energiebereitstellung nicht nur in der fernen Zukunft, sondern auch in den unmittelbar vor uns liegenden Jahren zu sichern.

Wie schaffen weniger Chemiker mehr?

Erst die Produktion macht uns reich!

Das Ansehen, das die Chemie heute mit vollem Recht in allen Bevölkerungsschichten genießt, gründet sich auf die überragenden Erfolge der chemischen Produktion. Man überlege: Was wären all die phantastischen Leistungen der Chemie, wenn man sie nur in grazilen Glasapparaturen realisieren könnte? Erst die massenhafte Erzeugung der in den Laboratorien entwickelten Produkte zu möglichst niedrigen Preisen macht die Chemie zur Wohltäterin der Menschheit. Die chemische Produktion ist deshalb so etwas wie die Krönung aller Bemühungen der Chemiker, zumal sie nicht nur das Zusammenwirken allgemeiner und spezieller Fachrichtungen der Chemie, sondern darüber hinaus auch zahlreicher anderer Disziplinen erfordert.

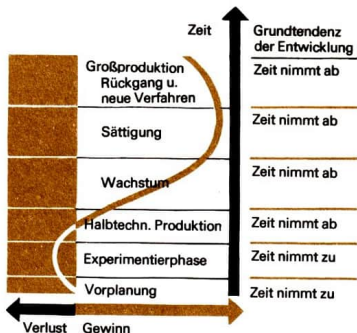
Solange der Chemiker einen Prozeß im Labor untersucht, behandelt er die eigentliche Reaktion, die dazugehörige Apparatur sowie die Analyse der Ausgangs-, Zwischen- und Endprodukte nach Menge und Qualität als ein untrennbares Ganzes. Auf dem Weg von der Entdeckung des Wirkprinzips über die nutzbare Erfindung bis zur produktionsbereiten Fabrik verselbständigen sich jedoch die einzelnen Teile des einheitlichen Verfahrens, um sich erst ganz am Ende des komplizierten Prozesses wieder miteinander zu verbinden. Ein produzierender Chemiebetrieb stellt sich deshalb auch durchweg als Einheit von wissenschaftlichen Grundlagen, Apparatebau, Technologie und Ökonomie dar. Im Verlaufe

der historischen Entwicklung wurde die zeitweise erforderliche, relative Selbständigkeit der Teile allmählich verabsolutiert, so daß die Trennung der Chemiker von den Technologen, Konstrukteuren und Ökonomen manchmal beinahe zur Norm geworden ist. Danach verwundert es nicht, wenn die ungenügende Beherrschung der Nahtstellen zwischen Verfahrensentwicklung, Produktionserfordernissen und Investitionsprozeß im Bereich der chemischen Industrie zu den Hauptursachen für unverträglich lange Überleitungszeiten von wissenschaftlichen Arbeitsergebnissen in die Praxis gehört. Der fließenden Erkenntnisumsetzung und dem Erfahrungsrückfluß ist deshalb immer wieder besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die Arbeit von Chemikern, Verfahrenstechnikern, Mathematikern, BMSR-Technikern und Apparatebauern muß zu einer wirklichen Einheit von Erzeugnis-, Verfahrens- und Anlagenentwicklung verdichtet werden. Auf diese Weise wird man nicht nur die Entstehung von Tischkastenprojekten vermeiden, sondern auch reale Überleitungszeiten sichern können.

Offenbar hätte es wenig Sinn, mit großen Anstrengungen ständig neue Produkte und Verfahren zu entwickeln, wenn sie danach in der Anwendungstechnik liegenblieben. Ebenso fehlerhaft wäre es jedoch, wenn man auf die Erkundung neuer Lösungswege verzichten und sich in unendlichen Verbesserungen althergebrachter Technologien verlieren wollte. Systematisches Ausschöpfen bewährter Verfahren auf der einen und Suche nach neuen Wirkprinzipien auf der anderen Seite müssen deshalb immer wieder in ein ausgewogenes Verhältnis zueinander gesetzt werden. Dabei ist zu beachten, daß die richtigen materiellen und kadermäßigen Proportionen zwischen den einzelnen Forschungsstadien hergestellt werden. Gegenwärtig jedenfalls sind zu geringe Kapazitäten im Musterbau sowie im Versuchs- und Prüfanlagenbau oft noch das Haupthindernis, um wissenschaftliche Ideen schneller in die Praxis umsetzen zu können. Besonders die Technologen brauchen dieses zwar nicht eben billige, aber nichtsdestoweniger unentbehrliche Handwerkszeug, das sie allein in die Lage versetzt, die in der Vergangenheit zeitweilig aufgetretenen Tendenzen einer Unter-

schätzung der chemischen Technologie ein für allemal in Vergessenheit geraten zu lassen. Sind doch gerade die Leistungen der Technologen mitbestimmend dafür, in welchem Maße die chemische Forschung produktionswirksam wird! Auch deswegen ist es erforderlich, die ständig wachsenden Aufgaben für die Forschung und Entwicklung so zu lenken, daß der Ausrüstungsgrad rascher zunimmt als die Mitarbeiterzahlen. Nur so kann die Arbeitsproduktivität der Wissenschaftler schneller steigen als der Mittelaufwand. Andererseits darf aber auch die Grundlagenforschung nicht vernachlässigt werden. Immerhin gingen beispielsweise in den USA von 40 bedeutenden Chemieentwicklungen der letzten 20 Jahre 67% aus der Grundlagenforschung hervor. Im pharmazeutischen Bereich waren es sogar 87%!

Bis Anfang der 60er Jahre war eine stufenweise Einführung neuer Verfahren in die Großproduktion in Maßstäben zwischen 1:3 und 1:50 üblich. Heute geht es darum, weitere Zwischenstufen einzusparen, um die lange Periode der halbindustriellen Experimente noch mehr zu verkürzen. Maßstabsübertragungen von über 1:10 000 sind deshalb schon keine Seltenheit mehr. Ein spezielles Verfahren zur Herstellung hochwertiger Düsentreibstoffe wurde in der DDR sogar mit einem Übertragungsverhältnis von nicht weniger als 1:200 000 in die großtechnische Praxis überführt, wobei der Zeitbedarf gegenüber der herkömmlichen Arbeitsweise auf ein Drittel bis ein Fünftel reduziert werden konnte. Bei der Komplexität und Dynamik chemischer Vorgänge erfordern derartige Sprünge ein zuverlässiges theoretisches Durchdringen und ein Höchstmaß an Informationen über die prozeßbestimmenden Parameter. Neben der eigentlichen Verfahrensentwicklung, die sich zunehmend auf Einsichten in die Natur der Mikroprozesse stützt, werden dabei besonders auch Forschungsarbeiten zur Anlagenprojektierung und Produktionsgestaltung an Bedeutung gewinnen. Die Entwicklung eines chemischen Verfahrens vom Labormaßstab bis zur Produktionsreife erfordert heute auch unter günstigen Bedingungen ungefähr 3 bis 4 Jahre. Danach kann es im Durchschnitt nur etwa 10 Jahre den Weltstand mitbestimmen.



Das ist der Lebensweg eines chemischen Produktionsverfahrens.

Das derzeitige Verhältnis von Forschungs- zu Überleitungsaufwendungen in der Chemie wird international mit 1:4 (Chemiekonzern Du Pont, USA) bis 1:10 (sowjetische Angaben) eingeschätzt. Im Durchschnitt der DDR-Chemieindustrie hat sich dieses Verhältnis von 1:6,9 im Jahre 1965 auf 1:4,6 1971/72 verbessert. Die Vorbereitungs aufwendungen liegen sogar unter dem internationalen Schnitt. Aber leider geht der anfänglich erzielte Kostengewinn im weiteren Verlauf der Realisierung sehr oft wieder verloren. Die nüchterne Auswertung internationaler Erfahrungen, die enge Zusammenarbeit der sozialistischen Länder und ein spitzer Bleistift im eigenen Haus werden uns auf diesem Gebiet rasch weiter voranbringen. Dann können auch die beim Bau chemischer Anlagen in der Vergangenheit häufig aufgetretenen Kostenüberschreitungen, die manchmal das 2- bis 3fache des geplanten Wertumfangs ausmachten, zukünftig vermieden oder doch wenigstens in vertretbaren Grenzen gehalten werden.

Um die Verfahrensentwicklung radikal zu verbessern, müssen Wissenschaft und Praxis sehr eng miteinander verbunden werden. Das ist eine schwierige Optimierungsaufgabe, weil die Wissenschaft dabei weder zu einem Tummelplatz für weltfremde Gelehrte noch zu

einer produktionseigenen Hausfeuerwehr »entwickelt« werden darf. Die Durchsetzung des Gedankens, jeder Forschungsaufgabe einen gesellschaftlichen Auftraggeber zuzuordnen, dem die Ergebnisse nutzen, hat im Laufe der Jahre die Beziehungen zwischen Wissenschaft und Praxis wesentlich vertieft, ohne daß damit aber schon alle Probleme gelöst worden wären. So kann bei der üblicherweise bestehenden Selbständigkeit und verschiedenen Unterstellung der Institutionen für Forschung, Entwicklung und Produktion die Organisation und Koordinierung manchmal fast ebensoviel Zeit beanspruchen wie die Forschungsarbeit selbst!

Auf der Suche nach neuen Organisationsformen zur besseren Beherrschung dieser Probleme wurden in der UdSSR etwa seit 1969 sogenannte Wissenschafts-Produktions-Vereinigungen (WPV) gegründet. In der Praxis haben sich mehrere Typen herausgebildet, denen z.T. auch Einrichtungen in der DDR entsprechen wie beispielsweise die Generalauftragnehmerbetriebe von der Art des Chemie- und Montagekombinats Leipzig. Im engeren Sinne aber sind die WPV Institutionen, die auf ihrem Gebiet den gesamten Forschungs-, Entwicklungs- und Realisierungsprozeß leiten. Deshalb gehören zu einem solchen Kombinat neben dem wissenschaftlichen Leitinstitut auch Konstruktions- und Projektierungsbüros, Einrichtungen für Montage und Versuchsproduktion sowie Industriebetriebe mit zweigspezifischer Serienproduktion und Weiterbildungszentren. Das Forschungs- und Entwicklungsergebnis wird hier nicht in Form einer Dokumentation abgeschlossen, sondern mit einem Erzeugnis, z. B. mit einer neuen Chemieanlage. Die bisher gewonnenen Erfahrungen werden sehr günstig beurteilt. So hat z. B. die Leningrader WPV »Plastpolimer« innerhalb von 8 Monaten eine komplizierte Versuchsanlage projektiert, fertiggestellt und in Betrieb genommen, wofür man unter den bisher üblichen Bedingungen 4 Jahre benötigt hätte. Dieses Beispiel zeigt, daß die sozialistische Gesellschaft für das Zusammenspiel verschiedener Betriebe und Institutionen im Interesse volkswirtschaftlich effektiver Gesamtlösungen die denkbar günstigsten Voraussetzungen bietet. Diesen Vorteil gilt es mit nüchterner Konsequenz und

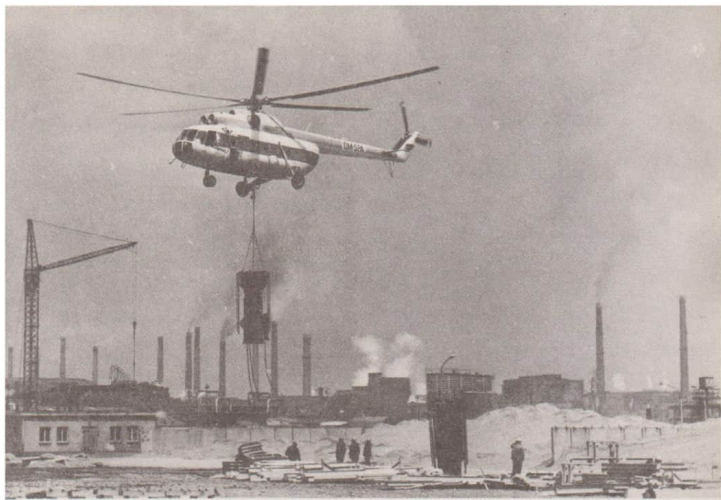
gesellschaftlichem Engagement in augenfällige Wirtschaftseffekte umzusetzen. Sogar für den absoluten Laien steht dabei fest, was merkwürdigerweise selbst einige Chemiker noch immer nicht vollständig verarbeitet haben:

Ohne Technik geht es nicht!

Die in der chemischen Industrie verwendeten Apparate sind so vielgestaltig wie die Produktionsprozesse selbst. Da gibt es kreischende Zerkleinerungsmaschinen, dickbäuchige Rührkessel, schlanke Reaktoren, massige Kühltürme und elegante oder plumpe Filter in Dutzenden von Ausführungen für jeden Bedarf und für jeden Prozeß. Dem Außenstehenden erscheint das Labyrinth von Rohren und Apparaten in einem großen Chemiebetrieb als ein ganz und gar unentwirrbares Durcheinander. In dieser Auffassung wird er bestätigt, wenn ihm einige Apparatebauer nicht ohne Stolz versichern, daß in der Regel jede Chemieanlage in ihren Elementen neu berechnet, projektiert und konstruiert werden muß. Jeder Prozeß sei anders, und deshalb erfordere er auch eine besondere apparative Bearbeitung. Wohl nur ein völliger Ignorant könne dazu eine andere Meinung haben!

In der Tat war der Chemieanlagenbau noch bis vor wenigen Jahren auf eine solche individuelle Bedienung eingestellt. Aber die Zeit blieb nicht stehen, und inzwischen darf man sagen, daß die ehemaligen Ignoranten recht behalten werden.

Jeder Chemiefacharbeiter lernt heute schon im ersten Lehrjahr, daß bei fast allen chemischen Prozessen gewisse Grundoperationen durchgeführt werden müssen, denen man jeweils funktionell gleichartige Apparatetypen zuordnen kann. Dazu gehören z. B. Stoffvereinigungsverfahren sowie Destillieren, Filtrieren, Zentrifugieren, Eindampfen und Trocknen. Man darf behaupten, daß sich jedes chemische Verfahren zu etwa 60 bis 80 % aus solchen immer wiederkehrenden Teilstufen zusammensetzt. Deshalb wird es möglich, die historisch bedingte Vielfalt der Apparate zu reduzieren, indem man sie konsequent vereinheitlicht und standardisiert.



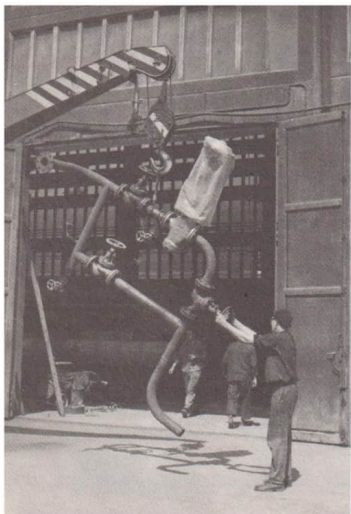
Bei der Montage komplizierter Chemieanlagen werden sogar Hubschrauber eingesetzt.

Die etwa seit 1965 bei uns betriebene Spezialisierung und Standardisierung von chemischen Grundausrüstungen nach dem Erzeugnisgruppensystem wird im Laufe der Zeit den gesamten Chemieapparatebau systematisieren. Dabei kann man sich auch in den wichtigsten Zulieferindustrien auf paßgerechte Baukastensysteme stützen. Von welcher Bedeutung das ist, wird sofort klar, wenn man weiß, daß der wertmäßige Anteil des eigentlichen Anlagenbaus an den Chemieausrüstungen bei noch immer schwach fallender Tendenz nur 25 bis 30% beträgt. In die verbleibenden 70 bis 75% teilen sich Meß- und Regeltechnik, Elektrotechnik/Elektronik, Rohrleitungsbau, Pumpen- und Verdichterindustrie sowie das Bauwesen zu wechselnden Anteilen. Insgesamt kooperiert der Chemieanlagenbau mit über 40 Industriezweigen!

Wenn man zugibt, daß 60 bis 80% einer

Chemieanlage standardisierungsfähig sind, so muß man logischerweise auch einräumen, daß dieser Anteil einer rationelleren Projektierung und Konstruktion mit Hilfe der EDV zugänglich ist. Beispielsweise können Rohrleitungs- und Elektroprojekte heute schon bis zu einem Anteil von 90% automatisch hergestellt werden. Entsprechende Maschinen, mit denen sich etwa 40% der Kosten und 60% der Arbeitszeit einsparen lassen, sind bereits im internationalen Angebot.

Aber an die Leistungsfähigkeit moderner Chemieanlagen werden immer größere Anforderungen gestellt. Neben dem stationären soll auch ihr dynamisches (Zeit-) Verhalten beherrscht werden. Dies verlangt eine weitgehende Modellierung der Zusammenhänge sowie Vorausberechnung und Simulation mittels EDV schon im Projektierungsstadium. Dabei kommt es darauf an, die für den Gesamtvorgang wesentlichen Eigenschaften des technischen Systems darzustellen und unwichtige wegzulassen. Nur so erhält man praktisch anwendbare Modelle, mit denen sich die Arbeitsproduktivität im Anlagenbau



Vormontierte Rohrleitungsbaugruppen ermöglichen eine rationellere Montage von Chemieanlagen. Das ist von großer Bedeutung, denn der Rohrleitungsanteil am Ausrüstungswert einer Chemieanlage liegt zwischen 15 und 30%.

steigern und die Entwicklung automatisierungsfreundlicher Chemieanlagen fördern läßt. Die Anwendung mathematischer Methoden und der elektronischen Rechentechnik in der Chemieanlagenprojektierung wird deshalb rasch weiter anwachsen. Im Verlaufe dieser Entwicklung soll die konstruktive und technologische Vorbereitung der Produktion zu drei Vierteln mit Hilfe von Modellen und Programmen automatisiert durchgeführt werden. Die herkömmliche Zeichenmaschine wird schon Anfang der 80er Jahre immer mehr durch Geräte der aktiven Displaytechnik (Bildschirmeinheiten mit Lichtschreiber) ersetzt werden, die mit einer Großrechenanlage im Rahmen territorialer Nutzersysteme gekoppelt sind. Charakteristisch wird dann nicht

mehr die Entwicklung z. B. einer bestimmten Kolonne sein, sondern die Projektierung eines Kolonnensystems, das die gewünschte Kolonne als Spezialfall enthält.

Bis vor kurzem (und das gilt z. T. auch heute noch) wurden Chemieanlagen aus Tausenden von Einzelteilen und Materialien sozusagen vor Ort nach der Devise »ein Blech – ein Rohr« zusammengebaut. Diese »Handwerkerei« in unzulänglichen, improvisierten Werkstätten wird vollständig verschwinden. Statt dessen geht es darum, auf den Chemiebaustellen mehr Technik und weniger Monteure einzusetzen. Dazu ist es notwendig, schrittweise die mechanisierte, automatisierte und zentralisierte Fertigung der Aggregate auf hocheffektiven Produktionsstraßen einzuführen. Die hier entstandenen Teile werden noch in der Werkhalle zu transportfähigen Blöcken mit Meßtechnik und sämtlichen Rohranschlüssen sowie dazugehöriger Isolierung und/oder Farbanstrich vormontiert. Dieser Trend vom einfachen Baustein zum industriell vorgefertigten Bauelement ist im Bauwesen schon seit Jahren für jedermann offenkundig. Mit der Vorfertigung von Rohrleitungsbauteilen und -gruppen sowie mit der Blockfertigung und -montage z. B. von Luftzerlegungs- und Erdgastrocknungsanlagen hat auch der Chemieanlagenbau der DDR bereits eindeutige Schritte in dieser Richtung getan.

Auf den Großbaustellen werden die vorgefertigten Blöcke und Rohrleitungsbaugruppen mit Hilfe von hocheffektiven Technologien zu kompletten Chemieanlagen zusammengesetzt. Die Montagezeiten lassen sich dabei um ein Viertel verringern, und die Gesamtzeiten für den Aufbau von Chemieobjekten können sogar bis auf die Hälfte verkürzt werden.

Zu beachten ist, daß langfristig auch der Trend zur Montage von Chemieanlagen in Freibauweise anhält. Er wird gestützt durch den Einsatz korrosionsbeständiger Werkstoffe und die zunehmende Automatisierung wichtiger Verfahrensstufen. Es genügt unter diesen Umständen vollkommen, wenn nur die empfindlichsten Teile des Betriebes, im wesentlichen also die zugleich als ständiger Arbeitsplatz des Anlagenführers dienenden Steuerzentralen, in geschlossenen Räumen untergebracht werden.

Der enge Zusammenhang zwischen chemischer Industrie und Chemieanlagenbau bringt es mit sich, daß dem allorts prognostizierten Wachstum der Chemie ein ebensolcher Fortschritt im Anlagenbau vorausgehen muß. Immerhin sind 60 bis 70% ihrer Produktionsmittel typische Chemieanlagen wie Reaktoren, Kolonnen, Wärmeübertrager und andere Apparate. In den 60er Jahren betrug die jährliche Wachstumsrate des Anlagenbaus in den führenden westeuropäischen Chemieländern (BRD, Großbritannien, Frankreich, Italien) und auch in der UdSSR im Mittel um etwa 11%. Für Chemieausrüstungen im engeren Sinne sowie bei Kühlanlagen und Pumpen wurden in der Sowjetunion zeitweise sogar Wachstumsraten zwischen 44 und 67% erreicht! Das Produktionsvolumen des DDR-Chemieanlagenbaus ist von 1970 bis 1975 mit einem jährlichen Zuwachs von über 20% ebenfalls sehr schnell gewachsen, und es wird auch weiterhin rasch ansteigen.

Aus allen Einschätzungen ist zu entnehmen, daß die Tendenz zur internationalen Verflechtung für den Chemieanlagenbau besonders charakteristisch ist. So werden beispielsweise in der UdSSR und der DDR Armaturenbetriebe nach gemeinsamen Plänen rekonstruiert, und Abkommen auf multilateraler Basis regeln die Zusammenarbeit bei der Herstellung von Ausrüstungen, mit denen Papier, Polymere und anorganische Säuren produziert werden.

Die wichtigsten Exportländer für Chemieanlagen sind im kapitalistischen Wirtschaftsgebiet die USA, die BRD und Großbritannien, im RGW-Bereich die UdSSR und die DDR. In den 60er Jahren entfielen zwei Drittel der Weltexporte allein auf die USA, als deren Hauptabnehmer Westeuropa, Kanada und die lateinamerikanischen Länder (75% ihres Bedarfs) auftraten. Dieser hohe Exportanteil der USA wird sich nach und nach etwas zugunsten der sozialistischen Länder sowie Japans und Westeuropas verschieben. Besonders die Nachfrage nach japanischen Chemieausrüstungen weist eine steigende Tendenz auf, wobei leistungsfähige Anlagen für extreme Temperaturen und Drücke (z. B. Ammoniak- und Harnstoffanlagen sowie Reaktoren für Hydrocracken) im Vordergrund des Interesses stehen.

Der Anlagenexport der Sowjetunion und der DDR konzentriert sich zu über 90% auf das sozialistische Wirtschaftsgebiet, obwohl insgesamt mehr als 60 Staaten Chemieausrüstungen aus der UdSSR beziehen und die DDR zwischen 1970 und 1975 ihren Export ins kapitalistische Wirtschaftsgebiet auf das 5fache erhöhen konnte. Das ohnehin schon beachtliche Anlagengeschäft der DDR mit der Sowjetunion verdoppelte sich im gleichen Zeitraum.

Entsprechend dem vorherrschenden internationalen Trend wird der Handel mit kompletten Chemieanlagen weiter an Bedeutung gewinnen. Die DDR trug dieser Entwicklung Rechnung, indem sie zwischen 1970 und 1975 die Produktion von kompletten Chemiefabriken gegenüber dem vorangegangenen Jahrfünft verdoppelte.

Ein starker Auftrieb ist im internationalen Handel mit Chemielizenzen zu erwarten, denn wissenschaftlich-technische Erkenntnisse werden als Exporterzeugnisse der hochentwickelten Länder immer mehr in den Vordergrund treten. Aber diese Entwicklung hat noch keineswegs einen solchen Stand erreicht, daß sie die Überschrift rechtfertigen würde

Wie groß ist zu groß?

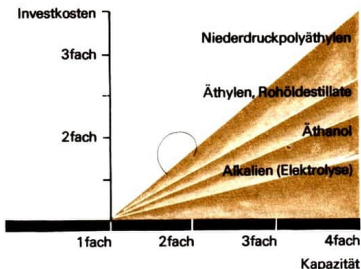
Diese Frage, die vor wenigen Jahren in einer Chemikerzeitschrift gestellt wurde, galt nicht dem immer größer werdenden Handelsvolumen der chemischen Industrie, sondern dem phantastischen Größenwuchs der Chemieanlagen. Immerhin stieg in den letzten 15 Jahren die optimale Anlagengröße in einigen Fällen um nicht weniger als das 5- bis 10fache, und bei verschiedenen Produktionen (z. B. Äthylen) haben die Spitzenreiter bereits eine Kapazität erreicht, die größer ist als der gesamte DDR-Bedarf! Wer aber hätte schon Mitte der 50er Jahre, als die Jahreskapazität der größten Äthylenanlagen zirka 50 000 t erreicht hatte, den Mut gehabt, für die erste Hälfte der 70er Jahre als Mindestgröße einer rentablen Äthylenproduktion immerhin 200 000 t zu postulieren und dazu noch eine Selbstkostensenkung um 40% vorauszusagen? Heute sind jedoch selbst 500 000-t-Kapazitäten nichts Ungewöhnliches mehr, und

Anlagen mit einer Jahresleistung von mehr als 1 Mill.t Äthylen werden bereits diskutiert.

Reaktoren für Polymerisationsprozesse hatten bis vor kurzem Volumina zwischen 4 und 40 m³. Jetzt haben sich 200-m³-Großreaktoren bewährt, mit denen Produktionskapazitäten von 50 000 Jahrestonnen realisiert werden können. Vor einigen Jahren wurden noch Destillationskolonnen mit 3 m Durchmesser bestaunt. Heute setzen nicht einmal mehr 10 m dicke Kolonnen die Fachleute in Verwunderung. SO₃-Kontaktöfen für die Schwefelsäureproduktion mit 5 m Durchmesser und bis zu 5000 Einzelrohren, Ammoniakreaktoren mit über 2 m Durchmesser und mehr als 60 m Höhe sowie neuerdings auch kugelförmige Konverter bringen große Effekte. Anlagen mit einer Tagesleistung von 1360 t Ammoniak (z. B. in Piesteritz) erzeugen im Vergleich zu 600-t-Apparaten pro Arbeitskraft 70% mehr Endprodukt, und die Selbstkosten sind 36% niedriger. Aber schon liegen sogar Projekte für Kapazitäten von 2000 bis 3000 Tagestonnen auf den Reißbrettern! Und die 1000-t-Grenze für eine Tagesproduktion ist inzwischen auch bei Schwefelsäure, Salpetersäure, Ammonsalpeter und anderen Massenprodukten überschritten worden.

Hand in Hand mit dem Größenwuchs der Chemieapparate ging ein rascher Anstieg der Leistungen je Flächen- bzw. Volumeneinheit. So erhöhte sich z. B. die Größe der Ammoniakreaktoren in den letzten 50 Jahren um den Faktor 4, aber die Raum-Zeit-Ausbeute¹ stieg auf das 10- bis 15fache! Dieser Trend zur intensiveren Nutzung des verfügbaren Reaktionsraums wird besonders bei den unter Druck ablaufenden Reaktionen (wie Hydrierungen, bestimmten Oxydationen und Polymerisationen) auch in der Zukunft bestehen bleiben. Gleichzeitig hält langfristig die Tendenz an, die Zahl der Verfahrensstufen zu reduzieren. Dies bedingt zwar einen erhöhten Aufwand in der Reaktionsführung, der aber

1 Raum-Zeit-Ausbeute: Die mit einem chemischen Produktionsverfahren erzielte Produktmenge, bezogen auf die Einheit der Zeit und des Apparatevolumens (Maßeinheit: kg/h · m³). Kennziffer für die Ausnutzung des Reaktorvolumens und für den Prozeßablauf.

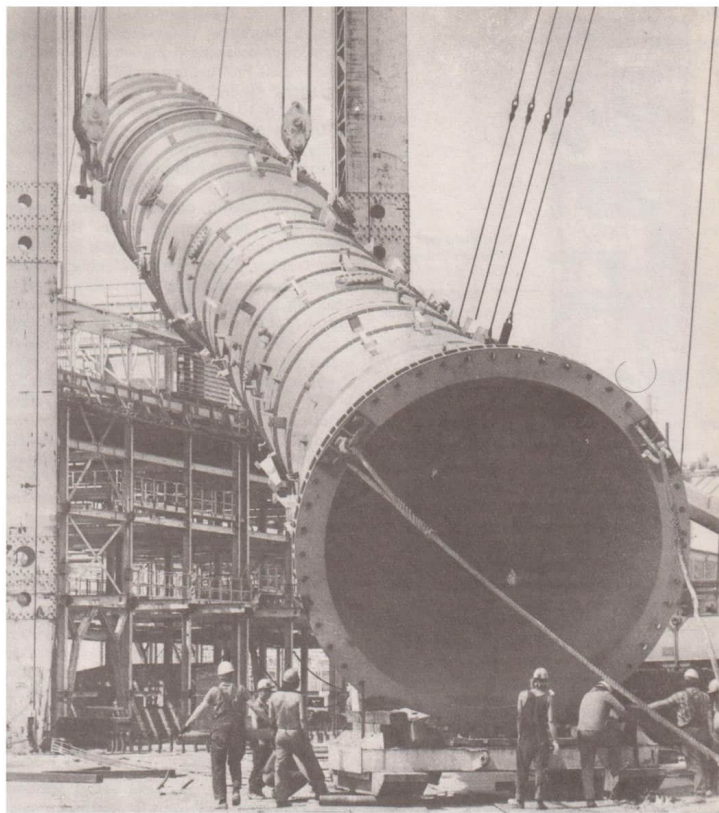


Zusammenhang zwischen Anlagenkapazität und Investitionskosten bei ausgewählten Chemieprodukten.

durch die geringeren Investitionskosten sowie durch die leichtere Automatisierbarkeit der Anlagen mit Gewinn aufgewogen wird.

Noch bis vor einigen Jahren wurden große Kapazitäten fast ausschließlich durch die Parallelschaltung von Anlagen der bis dahin gebräuchlichen Größenordnung realisiert. Dabei war der auf die Mengeneinheit Produkt bezogene Investitionsaufwand vom Produktionsvolumen nahezu unabhängig. Das Profil moderner Großanlagen für die Herstellung von Massenchemikalien aber ist immer häufiger durch eine sogenannte Einstrangauslegung gekennzeichnet. Die vorgesehene Kapazität wird hier durch größere Einzelaggregate erreicht. In diesem Falle wachsen die Investitionskosten langsamer als die Produktionskapazität, und die Kosten der laufenden Produktion nehmen bis zu einem bestimmten Grenzwert ab. Die dadurch erzielbare höhere Effektivität ist die tiefere Ursache für den Riesenwuchs der Chemieapparate, der selbstverständlich auch durch den steigenden Bedarf mitbestimmt wird.

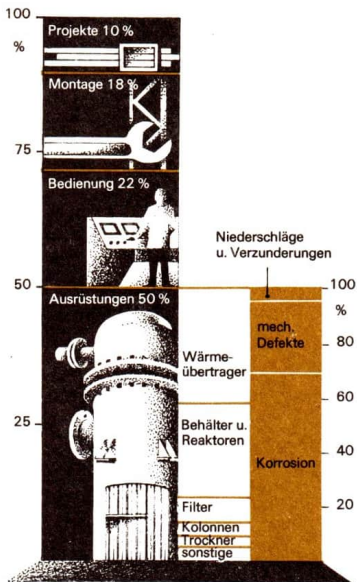
Betrachtet man das Tempo der Anlagenvergrößerung in den letzten Jahren, so fragt man sich unwillkürlich, wo eigentlich die Grenzen dieser Entwicklung liegen mögen. Allmählich wachsen die Chemieapparate nämlich in eine Größenordnung hinein, die mancherlei Komplikationen erwarten lassen. So ist es bei der Projektierung derartiger Großanlagen nicht einfach damit getan, das einzelne Aggregat in größeren Dimensionen



Ein 65 m hoher Ammoniakreaktor wird montiert.

auszulegen, denn in viel stärkerem Maße als früher müssen die Wechselwirkungen der riesenhaften Teile im Gesamtsystem beachtet werden. Die notwendige Einpassung der Apparate in die hochautomatisierten Fließverfahrenszüge der Zukunft macht völlig neu-

artige Konstruktionen erforderlich. Auch der Transport der fertigen Aggregate auf dem Landwege wird immer mehr zu einem Problem und bald wohl schon völlig unmöglich werden. Als entscheidender Begrenzungsfaktor kann aber dieser Umstand angesichts der mutigen Prognosen im Lufttransportwesen (Lastenhubschrauber und Delphinluftschiffe) noch nicht gewertet werden.



Ausfallursachen in Großanlagen der Chemieindustrie, zusammengestellt nach Angaben aus der DDR und der UdSSR.

Auf dem Bauplatz zwingen die riesigen Aggregate zu kostspieligen Endmontagen und neuen Aufstellungstechnologien. Aber schon gibt es Hebeverfahren, mit denen 60m hohe Anlagenblöcke (wie Destillationskolonnen und Reaktoren) innerhalb von nur 2 bis 3 Stunden aufgerichtet werden können.

Die anhaltende Vergrößerung der Produktionseinheiten bringt schließlich auch zahlreiche Betriebsprobleme mit sich, die von der Lagerwirtschaft über die Reaktionsführung bis hin zur Reparaturorganisation und Betriebssicherheit reichen. Erfahrungen der letzten Jahre haben jedenfalls gezeigt, daß große Einstranganlagen sehr störanfällig sind, wenn die erhöhte Bedeutung einer sorgfältigen

Material- und Geräteauswahl inklusive der exakten Montage unterschätzt wird. Dies führte beispielsweise in der petrochemischen Industrie zu Produktionsausfällen, die im ersten Betriebsjahr durchschnittlich 25 bis 40%, im zweiten 10 bis 20% der geplanten Produktion betrug. Nimmt man dazu noch den Ausfall in den betroffenen Verarbeitungsanlagen sowie die erheblichen Produktverluste beim Abstellen und Wiederanfahren, so können Schäden in der Größenordnung von 1 Mill. Mark pro Tag eintreten. Unter bestimmten Bedingungen sind sogar Schadensfälle denkbar, die die Wirtschaft eines ganzen Landes durcheinanderbringen können. Wer also mit solchen Superanlagen nicht in die »roten Zahlen« kommen will, der muß die Aggregate bei einem jährlichen Reparaturaufwand von 2,5 bis 3% der Investkosten mindestens 10 Jahre lang mit jeweils 8000 Betriebsstunden auf Vollast fahren. So jedenfalls lehren es die internationalen Erfahrungen. Schließlich darf auch nicht übersehen werden, daß derartige Anlagen bei einer Weiterentwicklung des Verfahrens nur mit großem Aufwand umgestellt oder angepaßt werden können.

Im Produktionsprozeß des klassischen Chemiebetriebes standen relativ selbständige Einzelanlagen mit unterschiedlichen Leistungsparametern sowie eigenen Meßwarten und Zwischenlagern mehr oder weniger selbständig nebeneinander. Sie entwickelten sich fast unabhängig voneinander und ohne Rücksicht auf ihre Wechselbeziehungen in der Produktion. Heute sind solche Einzelanlagen über zentrale Meßwarten verbunden, doch das ist nur ein Zwischenstadium der Entwicklung. Der langfristige Trend geht zu integrierten Produktionskomplexen, in denen jede Einzelanlage nicht nur in sich selbst, sondern vor allem auch nach den Bedürfnissen einer hocheffektiven Gesamtlösung optimiert ist. Die enge Verflechtung spezialisierter Großobjekte wird aber das Produktionsrisiko derart erhöhen, daß es nur getragen werden kann, wenn menschliches Versagen in Form von Bedienungsfehlern und Fehlentscheidungen ausgeschlossen wird. Der Einsatz von Rechenautomaten ist deshalb bei solchen Anlagen nicht nur wünschenswert, sondern notwendig. Die Bemühungen um eine sy-



Der Transport der immer größer werdenden Chemieanlagen macht zunehmende Schwierigkeiten. Mit diesem Harnstoffreaktor aus der ČSSR mußten 700 km auf der Straße zurückgelegt werden.

systematische Erhöhung der Zuverlässigkeit von Chemieanlagen wird man deshalb in den nächsten Jahren forcieren müssen. Bisher gibt es zu diesem Problemkreis überwiegend nur empirische Aussagen. Wenn wir aber die Zuverlässigkeit nicht einfach mit einer mehr oder weniger zufällig störungsfreien Laufzeit, sondern mit einem *planbar* zuverlässigen Betrieb gleichsetzen wollen, dann erfordert das eine tiefgehende Quantifizierung der Prozesse mit Hilfe mathematischer, kybernetischer und rechentechnischer Mittel.

Nach den bisherigen Erfahrungen kann man annehmen, daß sich die ökonomischen Parameter der Chemieanlagen unabhängig von den technischen Möglichkeiten beim Errei-

chen einer bestimmten prozeßspezifischen Größenordnung nicht mehr weiter verbessern lassen werden. Es ist deshalb nicht zu erwarten, daß das Größenwachstum der Anlagen in dem bisherigen Tempo noch zwei bis drei Jahrzehnte durchgehalten werden kann. Andererseits ist die Optimalgröße der Betriebseinheiten bisher wohl nur bei den wenigsten Produktionsprozessen erreicht, so daß insgesamt die Tendenz zur Anlagenvergrößerung anhalten wird. Für kleinere Volkswirtschaften ergibt sich daraus ein kräftiger Zwang zur internationalen Kooperation. Wer trotzdem noch seinen »eigenen Brei« kochen will, wird in der Zukunft teuer dafür bezahlen müssen.

Neben dem Trend zum Riesenwuchs der Chemieapparate und deren zunehmende Integration in automatisierten Produktionslinien zeichnet sich innerhalb der nationalen Wirtschaftsbereiche fast überall auch eine Tendenz ab, unterschiedliche, wenn auch meist

artverwandte Betriebseinheiten unter einer gemeinsamen Leitung zu vereinigen. Diese Entwicklung ist besonders sinnvoll, wenn sich dadurch Rohstoffe abfallfrei verwerten lassen und vielleicht sogar eine örtliche Konzentration realisiert werden kann. Dagegen führt die Zusammenfassung verschiedener, womöglich noch örtlich getrennter Betriebe wohl zur Einsparung von Verwaltungsarbeit, ein echter Kombinationseffekt im Produktionsbereich ist damit jedoch nicht zu erreichen.

In der chemischen Großindustrie entwickelten sich schon frühzeitig gut funktionierende Kombinate, in denen Tausende verschiedener Produkte hergestellt und jährlich Hunderttausende von Einzelaufträgen bearbeitet werden. Der Vorteil solch großer Einheiten mit vielen heterogenen Produktionen liegt in den Möglichkeiten der Verbundwirtschaft. Anfallende Prozeßwärme läßt sich an Ort und Stelle ausnutzen, Nebenprodukte bieten sich als Rohstoffe für neue Produktionsrichtungen an, die möglicherweise für sich allein vielleicht gar nicht wirtschaftlich wären. Schließlich sind derartige Kombinate unter kapitalistischen Bedingungen auch widerstandsfähiger gegenüber den Konjunkturschwankungen des Marktes. Dennoch wird nach sowjetischen Analysen zukünftig der Trend zum Aufbau von enger profilierten Großbetrieben überwiegen, weil sie die Möglichkeit einer beschleunigten Produktionsaufnahme mit einem schnelleren Rücklauf der investierten Mittel verbinden. Auch kann nicht übersehen werden, daß die Leitung solcher Werke viel einfacher ist als die von komplizierten Superkombinaten.

Natürlich wird sich der Fortschritt in der chemischen Industrie auch in den kommenden Jahrzehnten nicht nur in hochautomatisierten Riesenbetrieben, sondern auch durch die stetige Verbesserung schon bestehender Anlagen »normaler« Dimension manifestieren. Dies gibt Anlaß zu der provokatorischen Frage

Rationalisieren oder automatisieren?

Jeder weiß, daß die Chemie in bezug auf Menge und Qualität der technischen Ausrüstungen überall zu den fortgeschrittenen

Industriezweigen gehört. Die intensive Nutzung und eine ständige Verbesserung der Produktionswirksamkeit dieses Potentials entsprechen den Notwendigkeiten der sozialistischen Ökonomie. Anstelle einer quantitativen Ausweitung wird demnach immer mehr eine Erhöhung der Effektivität gefordert, damit die Produktionsmenge schneller wächst als die materiellen Fonds und das gesellschaftliche Arbeitsvermögen.

Der eigentliche Kern des Intensivierungsgedankens besteht in der Steigerung der Arbeitsproduktivität mit Hilfe einer durchgreifenden Rationalisierung der vorhandenen Einrichtungen bei gleichzeitig unterproportionalem Grundfondswachstum. Die Intensivierung beginnt mit der vollen Ausnutzung von Zeit und Anlagen, z. B. durch eine energische Reduzierung von Ausfallzeiten aller Art. In den letzten Jahren aber lag in unserer Republik die Zahl der durch Investitionen neugeschaffenen Arbeitsplätze in der chemischen Industrie noch immer deutlich über der Anzahl eingesparter Plätze. Die vorhandenen Diskrepanzen wurden dadurch noch verschärft. Mit Hilfe der Intensivierung müssen sie wieder abgebaut werden.

Nun bedeutet aber Intensivieren keineswegs nur, die vorhandenen Anlagen besser auszulasten und dafür technisch etwa auf der Stelle zu treten. Intensiv erweiterte Reproduktion schließt vielmehr auch die qualitative Weiterentwicklung der Produktion bis hin zur Automatisierung mit ein.

Angesichts des hohen Ausrüstungsstandes zahlreicher Chemiebetriebe mit Steuer-, Meß- und Regeltechnik glauben jedoch manche Chemiker, daß entscheidende Produktivitätserhöhungen nur noch durch den Aufbau vollautomatischer Anlagen erreicht werden könnten. Die Vertreter dieser Auffassung vergessen, daß eine komplexe Automatisierung von Produktionsprozessen sehr viel Geld kostet. Diese Mittel müssen aber erwirtschaftet werden, und dazu verfügen wir über keine anderen Einrichtungen als die heute schon arbeitenden Fabriken mitsamt ihren Mängeln und Schwächen. Eine größere Effektivität dieser Werke läßt sich nur durch die komplexe sozialistische Rationalisierung erreichen, worunter die zielgerichtete und systematische Erhöhung der Leistungsfähigkeit vorhandener

Anlagen zu verstehen ist. Daraus werden die Mittel fließen, die notwendig sind, um auch die langfristige Tendenz zur Automatisierung ganzer Produktionsprozesse nicht nur auf geduldigem Papier, sondern in praxi realisieren zu können. Die Palette der anzuwendenden Methoden muß dabei von der einfachen Sparmaßnahme bis zur Automatisierung einzelner Prozeßstufen reichen. Aber in keiner Minute sollten wir vergessen, daß ein schlichter Einfall die Kostenkurve ebenso nach unten drücken kann wie eine dicke Maschine!

Andererseits muß zugegeben werden, daß bei dem heutigen Entwicklungsniveau Intensivierungskonzeptionen, die lediglich aus sporadischen Einzelverbesserungen zusammengebastelt sind, einfach nicht mehr ausreichen, um chemische Anlagen, Verfahren und Produkte komplex weiterzuentwickeln. Die Rationalisierung chemischer Prozesse sollte man deshalb planmäßig und mit modernen Methoden betreiben. So muß u.a. stärker von der Gebrauchswert-Kosten-Analyse (GKA) Gebrauch gemacht werden. Im VEB Leunawerke und in einigen anderen Chemiekombinaten der DDR gewonnene Erfahrungen zeigen, daß die allgemeinen Prinzipien dieses Verfahrens auch in der Chemie gültig sind. Schon die Ausgangsfragestellung »Welches ist der niedrigste Aufwand, der zur Erfüllung der betreffenden Aufgabe gerade noch ausreicht?« lenkt die Aufmerksamkeit auf das Wesentliche. Im Verlauf der Analyse wird sodann für jeden einzelnen Kostenfaktor untersucht, wie er sich verringern läßt, um eine optimale Relation zwischen dem Gebrauchswert und den zu seiner Realisierung notwendigen Kosten herbeizuführen.

Natürlich ist es notwendig, die bis vor wenigen Jahren fast nur in der Metallverarbeitung angewandt, ergebnisbezogene GKA den Besonderheiten chemischer Prozesse anzupassen. Dies läuft angesichts des relativ konstanten Gebrauchswertes der primären Chemieprodukte im wesentlichen auf eine Minimierung der Verfahrens- und Anlagenkosten hinaus. Dadurch wird die Fondsrentabilität¹ günstig beeinflusst, wobei für die

Betriebe ein zusätzlicher Nutzen aus der Einsparung von Produktionsfondsabgaben resultiert. Schließlich ist die Methode auch zur Auffindung und Entwicklung günstiger technischer Lösungsvarianten geeignet. Kurzum, mit Hilfe der GKA kann ein wissenschaftlicher Rahmen für die Rationalisierung des Betriebes geschaffen werden, der es dem Leiter ermöglicht, alle verfügbaren Kräfte dort einzusetzen, wo sie den größten Nutzen bringen können.

Von besonderer Bedeutung ist die immer bessere Einbeziehung der Werktätigen in den Rationalisierungsprozeß. Schon im Jahre 1972 beteiligte sich ein Viertel aller Mitarbeiter unserer Chemieindustrie an der Neuererbewegung. Dabei wurden rund 450 Mill. Mark zusätzlich erwirtschaftet. Dies entsprach gegenüber 1970 einer Steigerung auf 124%. Es wird jedoch angestrebt, die Teilnahme an der Neuererbewegung auf über ein Drittel der Gesamtbeschäftigten zu erhöhen und daraus einen jährlichen Nutzen von mehr als einer halben Milliarde Mark zu ziehen. Beispiele beweisen, daß dieses Ziel realisierbar ist.

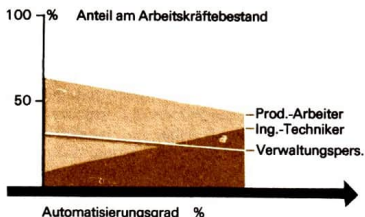
Aus naheliegenden Gründen verdient die Mitarbeit unserer Jugendlichen bei der Lösung von Intensivierungsaufgaben besondere Aufmerksamkeit. 1965 beteiligten sich etwa 6% der jugendlichen Mitarbeiter unserer Chemieindustrie an der MMM-Bewegung. 1970 waren es 16% und 1972 bereits 42%. In manchen Kombinaten nehmen sogar bis zu 75% aller Jugendlichen an der MMM-Arbeit teil. Solche Resultate müssen anerkannt werden, aber sie entbinden uns nicht von der Verpflichtung, die unerschöpflichen Potenzen der Werktätigen durch eine auf hohem Niveau stehende Leitungstätigkeit noch stärker zu mobilisieren. Dabei zählen nicht respekt einflößende Statistiken, sondern echte Resultate. Diese werden vorbereitet, indem man wirtschaftliches Denken und funktionsorientierte Betrachtungsweisen bei den Mitarbeitern systematisch entwickelt und die Gedanken der Rationalisatoren stärker auf die Aufgaben der Kostenreduzierung lenkt. Schließlich verspricht auch eine energische Erhöhung der Nachnutzungsrate der wertvollen Vorschläge, die in der Chemie bisher erst bei wenigen Prozenten liegt, für die Zukunft noch großen Gewinn.

1 Fondsrentabilität: Verhältnis des erwirtschafteten Gewinns zum eingesetzten Produktionsfonds, Ausdruck für den Nutzeffekt der Fonds.

Rationalisiert werden kann alles, überall und vor allem auch zu jeder Zeit, denn Rationalisierung ist eigentlich keine Maßnahme, sondern ein Prozeß. Um die Rationalisierung effektiv zu machen, müssen aber Schwerpunkte gesetzt werden, und das ist nach wie vor eine Aufgabe der Leitung, die oft selbst rationalisierungsbedürftig ist. Die Auswahl der Schwerpunkte ist betriebsabhängig. Trotzdem soll hier als besonders dringliches Problem die Beseitigung der Niveauunterschiede zwischen den chemischen Hauptprozessen und den Hilfs- und Nebenprozessen herausgestellt werden.

Zur Zeit sind allein im Bereich unseres Ministeriums für chemische Industrie rund 50 000 Produktionsarbeiter (das sind etwa 16% aller Beschäftigten) mit Transport-, Umschlag- und Lagerarbeiten befaßt. Ihre Arbeitsproduktivität ist bislang wesentlich niedriger als die ihrer Kollegen in der unmittelbaren Produktion. Durch Rationalisierungsmaßnahmen wird man aus diesem Bereich bis 1985 etwa 6000 Arbeitskräfte für andere Aufgaben freisetzen können.

Auf zwei Mitarbeiter in der chemischen Produktion kommt außerdem noch ein Werk­tätiger in der Instandhaltung. Der Arbeitszeitfonds dieser Reparaturarbeiter wurde Anfang der 70er Jahre nur zu 70 bis 75% ausgenutzt. Bei einer Verbesserung um 10% könnten nicht weniger als 1000 Arbeitskräfte für andere Zwecke freigesetzt werden. Der Grundfondsbestand unserer Chemieindustrie wird bis zum Jahre 1980 auf etwa 250%, die Zahl der Instandhaltungsarbeiter aber nur auf 110 bis 115% des Wertes von 1967 ansteigen. Dadurch wird der Anteil der instandzuhaltenden Grundmittel je Arbeitskraft von 450 000 Mark auf den internationalen Spitzenwert von über 1 Mill. Mark anwachsen. Das erfordert eine beschleunigte Einführung der industriemäßigen Instandhaltung und die Schaffung großer Spezialwerkstätten, die vielleicht auch eine überbetriebliche Spezialisierung ermöglichen werden. Daraus wiederum ergeben sich Möglichkeiten für eine schrittweise Orientierung der Instandhaltung auf den Austausch von standardisierten Baugruppen im Schadensfall und die anschließende zentrale Reparatur der ausgetauschten Arbeitsmittel. Die überbetriebliche Spezialisierung muß



Tendenzielle Entwicklung einiger Beschäftigten­gruppen in der stoffwandelnden Industrie bei zunehmender Automatisierung.

derzeit vor allem für die Instandhaltung von Pumpen, elektrischen Maschinen, Transportgeräten, Hebezeugen, Armaturen und Einzelausrüstungen entwickelt werden. Durch den Austausch von Kapazitäten wird auch die internationale Zusammenarbeit auf diesem Gebiet wirksam gefördert. Sozusagen als Muster wurde 1975 von den interessierten RGW-Ländern ein zentralgeleiteter Reparaturdienst für Erdölverarbeitungsanlagen gegründet, der später auch auf andere Objekte ausgedehnt werden soll. Damit hofft man die geplanten Stillstandszeiten großer Chemieanlagen noch wesentlich unterbieten zu können.

Nach alledem ist es einleuchtend, wenn die in Hilfsprozessen angelegten Investitionen nach sowjetischen Angaben einen 5- bis 6mal höheren Effekt bringen sollen als in der Grunderzeugung. Die Rationalisierung der Produktionsvorbereitung ist deshalb eine beachtliche Reserve der Chemiekombinate, um Arbeitskräfte einzusparen und eine höhere Fondseffektivität zu erzielen.

Fast immer kann im Chemiebetrieb die Rationalisierung technischer Ausrüstungen von der Rationalisierung der Betriebsorganisation unterschieden werden. Die Verbesserung von Verfahren und Anlagen erfordert stets einen erheblichen Mittelaufwand. So kostet die Einführung einer technologischen Neuerung ungefähr 10mal soviel wie die dafür erforderliche Forschung, aber zur Erzeugung eines neuen Produktes in einer neuen Anlage braucht man sogar 100mal soviel Geld. Dagegen ist die Organisation ein sogenannter

»Nichtinvestitionsfaktor«, und schon allein deshalb sollte ihr zukünftig größere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Eine gute Organisation in Verwaltung und Produktion vermag ohne großen Mehraufwand die Wirksamkeit der Einzelelemente des Systems zu vervielfachen. Deshalb ist ihr Einfluß auf die ökonomische Entwicklung in der Zukunft mit allen Mitteln zu erhöhen. Die komplexe, aber ganz trocken pragmatische Organisation der Planung, Finanzierung, Rechnungsführung, Materialversorgung, Kontrolle usw. erschließt in vielen Betrieben bedeutsame Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des Produktionsprozesses. Welch großer Nachholebedarf auf diesem Gebiet besteht, erhellt daraus, daß in den letzten 100 Jahren die Arbeitsproduktivität im Bereich der materiellen Produktion um ein Mehrfaches schneller als in der Leitung, Planung und Verwaltung angestiegen ist. Für die ehrenamtlichen und hauptberuflichen Gruppen zur Durchsetzung einer wissenschaftlichen Arbeitsorganisation gibt es hier noch ein weites Tätigkeitsfeld.

Objektiver Maßstab für alle organisatorischen Aufgaben kann nur die Unentbehrlichkeit für die produktiven Bereiche des Betriebes sein. Der bei uns gelegentlich noch praktizierte Papierkrieg mit Berichten in ... zigfacher Ausfertigung, Streit um Zuständigkeiten und nervtötender Hektik statt schöpferischer Unruhe hält die Menschen von der produktiven Arbeit ab und muß deswegen bekämpft werden. Übersehen wir bei unseren Bemühungen vielleicht zu oft noch die einfache Wahrheit, daß ein Arbeitsgang, der völlig eingespart wird, auch nicht mehr rationalisiert zu werden braucht?

Organisieren steht im Zusammenhang mit Leiten. Die Leitungsarbeit verringert und verbessert sich um so mehr, je vollkommener die gesamte Betriebsorganisation der gestellten Aufgabe angepaßt wird. Dies aber muß sowohl durch »einfache« Rationalisierung wie auch durch schrittweises Einführen automatisierter Produktions- und Leitungsabschnitte verwirklicht werden. Die Automatisierung von Teilabschnitten der Produktion und Leitung muß sozusagen als die höchste Stufe der Rationalisierung angesehen werden. Sie vollzieht sich im wesentlichen auf der Basis der herkömmlichen Verfahren an den

qualitäts- und kostenbestimmenden Stellen des Betriebsablaufs. Die Automatisierung ganzer Systeme dagegen bedeutet einen qualitativen Umschlag mit weittragenden Auswirkungen auf Verfahren, Technik und Menschen. Sie wird nur dann die erwarteten Resultate bringen, wenn die gesamte Technologie des Prozesses einschließlich der apparativen Ausrüstung paßgerecht auf die Vollautomatisierung zugeschnitten ist. Systemautomatisierungen wird man deshalb – und das ist auch die internationale Praxis – vorzugsweise bei der Neueinrichtung ausgewählter Anlagen vorsehen. Andernfalls besteht die Gefahr, daß der ganze kostenaufwendige Automatisierungsapparat einem dafür völlig ungeeigneten System künstlich aufgepfropft wird. Dies wäre nicht nur unzweckmäßig, sondern auch äußerst risikoreich, denn es sollte nie vergessen werden, daß der Nutzen einer komplexen Automatisierung spektakulär sein kann, aber noch beeindruckender können die Verluste werden!

Wie beherrscht man moderne Chemieanlagen?

Seien wir ehrlich: So beeindruckend die Vielfalt der Rohre, Schalter, Ventile und Reaktionsapparate auch ist, eines fehlt den großen Chemiefabriken vollständig – das ist die Faszination der bewegten Hebel und Räder. (Da hat man doch zu einer alten Dampflokomotive gleich einen ganz anderen Kontakt!) Aber vielleicht fragt sich der Laie gerade deshalb mit respektvoller Andacht, wie das wohl alles beherrscht werden mag, denn Menschen sind in modernen Chemieanlagen nur wenige zu sehen. Die Antwort ist ebenso einfach wie inhaltsschwer. Sie lautet: durch Messen (M), Steuern (S), Regeln (R) und in zunehmendem Maße auch durch Automatisieren.

Die heute in den modernen Industriestaaten großtechnisch praktizierten chemischen Prozesse unterscheiden sich außerordentlich stark voneinander, aber für die Regelungstechniker haben sie glücklicherweise sehr viele Merkmale gemeinsam. Mit den gleichen Regelungsgrundsätzen können deshalb ganz unterschiedliche Produktionsprozesse regiert

werden. Dies ist der Ausgangspunkt für die massenhafte Ausstattung der Chemiebetriebe mit MSR-Technik.

Regelungstechnisch von Belang ist die Frage, ob der chemische Prozeß diskontinuierlich oder kontinuierlich (oder vielleicht auch kombiniert) betrieben wird. Die kontinuierliche Fahrweise hat sich besonders dort bewährt, wo große Produktmengen als Gase oder Flüssigkeiten durchgesetzt werden. Im Vergleich zum unstetigen Betrieb ist die Auslastung der Geräte, die Raum-Zeit-Ausbeute sowie die Material- und Energieausnutzung höher, der Arbeitskräftebedarf aber geringer. Der kontinuierlichen Produktion gehört deshalb in den meisten Zweigen der stoffwandelnden Industrie die Zukunft. Zumindest aber wird ein quasikontinuierlicher Betrieb angestrebt, wobei mehrere diskontinuierliche Prozesse in einem solchen Rhythmus geschaltet werden, daß ein dem kontinuierlichen Verfahren analoger Arbeitsablauf resultiert. Die kontinuierliche Fahrweise ist jedoch keineswegs in jedem Falle das Optimum. So ergeben z. B. diskontinuierlich geführte Destillationskolonnen viel höhere Durchsatzleistungen als stetig betriebene.

Bei diskontinuierlicher Reaktion werden die Ausgangsprodukte nach ihrer Vereinigung im Reaktor meist auf eine bestimmte Prozeßtemperatur gebracht, die sodann durch Zu- oder Abführung von Energie konstant gehalten werden muß. Nach Beendigung der Reaktion werden die Endprodukte abgezogen, und die nächste Charge wird in der gleichen Weise bearbeitet. Die wichtigsten Regelgrößen sind also Druck und Temperatur. Durchflußmenge und Füllstand spielen im Gegensatz zum kontinuierlichen Betrieb keine Rolle. Trotzdem ist die Regelung des diskontinuierlichen Verfahrens besonders in bezug auf die Temperatur schwieriger, weil bei größeren Reaktoren Zeitverzögerungen in der Temperatureinstellung auftreten können.

Der Anteil von Meß-, Kontroll- und Automatisierungsmitteln an den Ausgaben für Chemiemaschinen und -geräte beträgt heute durchschnittlich 10 bis 15%, nicht selten werden sogar 25 bis 40% erreicht. Für die Wartung dieser Technik sind jährlich etwa 15% der Anschaffungskosten bei einem Personalbedarf in Höhe von 2 bis 5% der Gesamt-

belegschaft anzusetzen. Die zunehmende Kompliziertheit der Anlagen, die obendrein in wachsendem Maße automatisch gefahren werden sollen, erfordert eine weitere Erhöhung der MSR-Anteile. Aus diesem Grunde wird die Chemie nach allgemein vertretbarer Auffassung in allen fortgeschrittenen Ländern zum Hauptkonsumenten von Automatisierungstechnik und Elektronik werden.

Die MSR-Technik hat schon heute einen Entwicklungsstand erreicht, der die Lösung so gut wie aller auftretenden Probleme im Chemiebetrieb gestattet. In den Meßwarten wird sich in den nächsten Jahren als Haupttendenz der Entwicklung eine größere Informationsdichte und eine höhere Zuverlässigkeit mit einfacheren und kleineren Geräten durchsetzen. Echte Neuentwicklungen erwarten die Fachleute eigentlich nur beim Messen und Regeln kleiner und kleinster Stoffströme für Testanlagen und spezielle Produktionen. In gewisser Hinsicht sind wir hier fast schon auf einer Endstation angekommen.

Regeln, steuern und automatisieren kann man natürlich nur, wenn die Prozeßparameter bekannt sind. Um diese zu erfassen, wird die chemische Produktion zunehmend mit hochentwickelter Meßtechnik ausgestattet. Die zu ermittelnden Parameter sind im wesentlichen thermodynamische Zustandsgrößen wie Druck und Temperatur, die den Ablauf der Reaktion bestimmen, außerdem Durchfluß- und Füllstandsziffern sowie Analysenwerte, die die Qualität der Zwischen- und Endprodukte charakterisieren (z. B. Dichte, Leitfähigkeit, pH-Wert und andere Kennzahlen). Auffällig ist dabei der Trend zur digitalen (ziffernmäßigen) Meßtechnik. Sie dringt mehr und mehr auch in Gebiete ein, die bisher den analog, d. h. stetig registrierenden Anzeigegegeräten, vorbehalten waren. Dennoch werden sich Apparate mit digitalem Ausgang nach internationalen Einschätzungen im Betrieb wahrscheinlich nur bei Messungen mit Genauigkeitsanforderungen über 0,1% durchsetzen.

Bei den Meßinstrumenten für wärmetech-nische Größen (Druck von 10^{-4} bis 10^4 bar und Temperatur bis zirka 3500°C) sind abgesehen von einer weiteren Erhöhung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit für die nächsten Jahre keine prinzipiellen Neuheiten zu erwarten.



Steuerzentrale für eine moderne Zementanlage.

Dagegen wird damit gerechnet, daß der rasche Fortschritt bei der Messung von Mengen- und Qualitätsgrößen anhält. Wegen der ständig wachsenden Genauigkeitsansprüche werden Mengenmeßgeräte (vor allem Ovalradzähler¹ und Turbinenzähler²) das Wirkdruckverfahren weiter verdrängen, bei dem die Durchflußmengen auf der Basis der Strömungsgesetze bestimmt werden. Bei aggressiven und zähen Medien wird neben dem Wirkdruckverfahren die induktive Durchfluß-

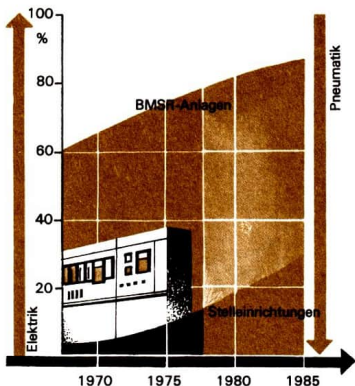
messung (Meßprinzip auf Basis Induktionsgesetz) größere Bedeutung erlangen.

Mehr und mehr dehnt die MSR-Technik ihr Arbeitsfeld auch auf die Bestimmung charakteristischer Qualitätsparameter aus, mit deren Hilfe der chemische Reaktionsablauf verfolgt wird, so daß der Anlagenfahrer rechtzeitig korrigierend eingreifen kann. Automatische Betriebsanalysengeräte sind jedoch gegenwärtig noch relativ wenig verbreitet. Die fortschreitende Entwicklung kontinuierlich arbeitender Apparate (z. B. Infrarotfotometer, Dichtemesser, Betriebschromatographen) wird den Ausbau der chemischen Prozeßanalyse beschleunigen, zumal fließend gelieferte Meßwerte für Regelungszwecke besser als diskontinuierliche geeignet sind. Der ökonomische Effekt muß dabei vor allem durch die verbesserte Ökonomie des Produktionsprozesses realisiert werden und nicht, wie mitunter noch angenommen wird, durch wesentliche Arbeitskräfteeinsparungen im Labor.

In der MSR-Technik gibt es eine langfristige Tendenz zur Verdrängung von pneumatischen

1 Ovalradzähler: Kontinuierlich arbeitendes Mengenmeßgerät, bei dem die Druckenergie des strömenden Mediums zwei mit einem Zähler verbundene ovale Räder antreibt, die bei jeder Umdrehung ein definiertes Volumen freigeben.

2 Turbinenzähler: Kontinuierlich arbeitendes Mengenmeßgerät, bei dem das strömende Medium ein Turbinenrad (Flügelrad) antreibt, dessen Drehzahl proportional der in der Zeiteinheit durchfließenden Menge ist.



Verschiebung der Relation Elektrik/Pneumatik bei Stalleinrichtungen und BMSR-Anlagen im Bereich der chemischen Industrie nach Kostenanteilen bis 1985 (nach Britall 1972).

durch elektrische Geräte. Gleichzeitig verlagert sich die Hauptanwendung der pneumatischen Verfahren von der Meßwerterfassung auf Regelaufgaben und Stellglieder.

Die Meßfühler der Geräte liefern im allgemeinen nur Signale von geringer Leistung. Um sie den Anzeigegeräten, Reglern und Rechnern über größere Entfernungen zuleiten zu können, müssen sie gegebenenfalls umgeformt und verstärkt werden. Gegenwärtig benutzt man dazu in der Chemie noch immer vorzugsweise das pneumatische Prinzip. Es gibt auch gewichtige Gründe, die dafür sprechen, daß sich pneumatische Regler besonders in mittleren und kleinen Anlagen, die nicht ganz so hohe Ansprüche an die Regelung stellen, noch eine gute Weile halten werden. Da ist zunächst das ebenso schlichte wie überzeugende Kostenargument: Pneumatische Regler sind billiger als elektrische und hydraulische Apparate, und sie sind ohne besonderen Aufwand explosionsicher. Beim Ausfall der Hilfsenergie können sie überdies noch etwa eine Stunde weiterarbeiten, weil in den Rohrleitungen etwa das Doppelte des stündlichen Luftverbrauchs gespeichert ist.

Wie in der elektronischen Steuerungstechnik geht auch der Pneumatiktrend zur komplexen Funktionsgruppe. Es existiert bereits das Analogon zur gedruckten Leiterplatte und zum integrierten Schaltkreis!

Andererseits arbeiten elektrische Regler bedeutend schneller, und gerade darauf kommt es an, wenn die Produktion automatisch gesteuert werden soll. Außerdem kann man die Regelalgorithmen leicht ändern und verschiedene Regelkreise auf einfache Weise miteinander verknüpfen und vermaschen. Der langfristige Trend zur Regulierung der Sollwerte der Reaktionsparameter durch Elektronenrechner wird deshalb allmählich auch dem elektrischen Regler die Bahn für einen breiteren Einsatz in der chemischen Industrie frei machen, zumal damit gerechnet werden kann, daß sich das bestehende Kostengefälle von der Elektronik zur Pneumatik nach und nach verringern wird.

Der aus den unterschiedlichen Verfahren der Chemie erwachsende Bedarf an Meß- und Regelgeräten führte in der Vergangenheit in einer auf viele Betriebe zersplitterten Industrie zur Entwicklung zahlreicher funktionsanaloger Apparatetypen. Heute und in Zukunft hat aber nur noch die Kombination weitgehend standardisierter Geräte nach dem Baukastenprinzip eine Perspektive. Etwa ab 1960 wurde deshalb im RGW-Rahmen das universelle Regelungs- und Steuerungssystem URS konzipiert, dessen nationale Variante in der DDR unter der Bezeichnung »Ursamat« bekannt geworden ist. Im Frühjahr 1973 wurde der Übergang zur zweiten Gerätegeneration abgeschlossen. Die mit Steckverbindungen ausgerüsteten Meß- und Regelgeräte brauchen jetzt in der Meßwarte nur noch in vorgefertigte und bereits verdrahtete Gestelle eingeschoben zu werden. Damit verfügen wir für die Lösung von MSR-Aufgaben aller Schwierigkeitsgrade auch in der chemischen Produktion über ein ausbaufähiges Gerätesystem, dessen Einsatz nicht zuletzt wegen der Kombinationsmöglichkeiten mit Apparaten aus anderen RGW-Ländern die fortschreitende Automatisierung der stoffumwandelnden Prozesse wirksam fördern wird.

Revolution der Computer

Der eigentliche Schlüssel zur Automation in Betrieb, Labor und Verwaltung ist jedoch der Computer. Obwohl die einfachsten Exemplare dieser Maschinengattung heute schon die Schaufenster unserer Spielzeuggläden zieren, betrachten wir die »erwachsenen« Apparate noch immer mit einem unbehaglichen Mißtrauen. Computer — schon allein der Name jagt einem die Gänsehaut den Rücken hinunter! Und dann erst die Geräte selbst! Unnahbar und steril, mit überheblich blinkenden Lämpchen, zierlichen Schaltern und steifen Hebeln stehen sie in sauberen Räumen und wollen so gar nicht zu der rauhen Chemielandschaft passen, die sie dirigieren sollen. Aber schaut sie euch doch genauer an! Blechkästen sind es, die nicht einmal dazu taugen, dem winzigsten Überdruck standzuhalten. Und im Innern? Statt Wunder sehen wir — verdrahtete Mathematik! Und die ist zu beherrschen, wenn auch vielleicht mit Mühe. Kein Grund zur Aufregung also. Die einfache deutsche Übersetzung sagt es ohnehin: Rechner sind es und sonst nichts.

Der »elektronische Normalverbraucher« wird diesen Argumenten möglicherweise mit einem erleichterten Aufatmen gefolgt sein, und das ist gut so, denn nichts trübt das klare Denken mehr als übermäßig großer Respekt vor unbekannten Dingen. Es liegt deshalb keineswegs in der Absicht des Verfassers, dem Leser nun doch noch das Gruseln beizubringen, wenn jetzt der Vollständigkeit halber hinzugefügt werden muß, daß die Schaltung mancher Rechner so verzwickt geworden ist, daß man sie nur noch mit Computern — wollte sagen Rechnern — zusammenbringen kann. Die Apparate berechnen sozusagen ihren eigenen Nachwuchs!

Rechenautomaten verarbeiten Informationen: Eingangsinformationen werden nach einem vorgegebenen Programm in Ausgangsinformationen umgeformt. Beim Analogrechner sind die Rechengrößen stetig veränderlich (analog), und ihre Verknüpfung erfolgt unmittelbar nach physikalischen Gesetzen. Dieses Prinzip liegt dem Rechenschieber zugrunde. Beim Digitalautomaten sind die Rechengrößen nicht stetig, sondern diskret ziffernmäßig (digital) dargestellt. Es handelt

sich also um das Prinzip, nach dem die einfachen mechanischen und elektrischen Rechenmaschinen arbeiten. In der chemischen Industrie werden am häufigsten Digitalrechner eingesetzt.

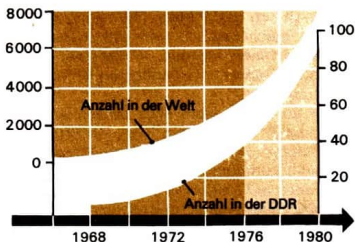
Ein Computer kann alles berechnen, was sich durch ein System von Rechenregeln beschreiben läßt. Der verstärkte Einsatz von Rechenautomaten in der Chemie führt deshalb auch auf diesem Gebiet zu einer Eskalation der Mathematik, und er setzt sie sogar voraus.

Ein anschauliches Maß für die rasante Entwicklung der Computertechnik bieten die Rechengeschwindigkeiten, die in den letzten 20 Jahren um nicht weniger als 10 Zehnerpotenzen angewachsen sind. Das wurde vor allem durch die Miniaturisierung und Mikrominiaturisierung der herkömmlichen Bauteile und ihrer räumlichen Anordnung möglich, wofür die Chemie durch die Bereitstellung geeigneter Werkstoffe eine wichtige Vorarbeit geleistet hat. Gegenwärtig liegen die maximalen Rechengeschwindigkeiten bei einigen 10^7 Operationen pro Sekunde. Für das letzte Jahrzehnt unseres Jahrhunderts werden Rechengeschwindigkeiten von über einer Milliarde Operationen pro Sekunde vorausgesetzt. Externe Speicher vom Magnettrommeltyp¹ sollen eine Kapazität von 10^{14} bit² erreichen, was ungefähr dem Fassungsvermögen einer Bibliothek mit 100 Millionen Bänden entsprechen würde. Die Leistungen, die mit solchen Automaten vollbracht werden können, lassen sich in ihrem wahren Umfang noch gar nicht abschätzen!

In der Zukunft werden sich Computer zu weit verbreiteten Werkzeugen entwickeln. Deshalb müssen sie nicht nur von Spezialisten, sondern z. B. auch von Chemikern und Anlagenfahrern bedienbar sein. Das setzt die immer bessere Ausstattung mit geeigneten

1 Externe Speicher vom Magnettrommeltyp: Außerhalb eines Computers befindliche Trommel, die mit einer Magnetschicht versehen ist und zum Speichern von Daten dient.

2 Bit: Abgeleitet vom engl. »binary digit«. Einheit der Information, die in einer Binärentscheidung enthalten sein kann. Zur Binärentscheidung führt jede Frage, die nur mit ja oder nein zu beantworten ist.



Entwicklung des Einsatzes von Prozeßrechnern in der Chemie ohne Mikrocomputer, deren zukünftige Anwendung auch der Automatisierung chemischer Prozesse mit Sicherheit einen starken Auftrieb geben wird.

Kommunikationsmitteln und Operatorhilfen voraus (z. B. automatischer Meßwerteingabe und fotoelektrischer Ergebnisausgabe). Als flexibelste Methode zur Informationsanzeige wird sich die Anwendung von großflächigen Bildschirmsichtgeräten durchsetzen. In zunehmendem Maße werden anwendergerechte Automaten Systeme auf den Markt kommen, die u. a. auch unmittelbar auf die Chemie zugeschnitten sind, denn

Prozeßrechentechnik und Chemie gehen zusammen

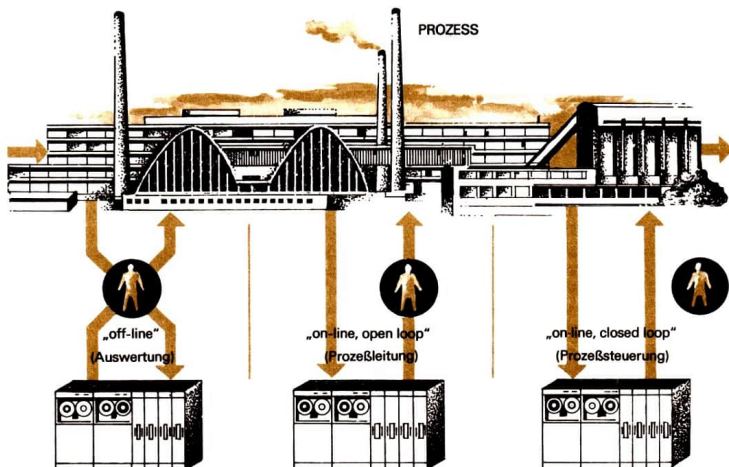
Rechenautomaten, die zur Überwachung, Steuerung und Regelung der Produktion eingesetzt werden, heißen Prozeßrechner (PR). Ihr Breitereinsatz begann erst Mitte der 60er Jahre. Heute sind mit allen Raffinessen ausgestattete Gerätetypen im internationalen Angebot.

1970 waren in der Welt zirka 2000 Geräte in Betrieb, 1973 aber schon 22000 (Europa: 6600). Der jährliche Zuwachsfaktor seit 1965 betrug etwa 1,5. Man kann also damit rechnen, daß um die Jahrtausendwende ein großer Teil aller industriellen Prozesse von Rechenautomaten gesteuert werden wird.

Die automatisierungsfreundlichen chemischen Verfahren gehörten von Anfang an zu den »Paradeponen« der Produktionsauto-

omatisierung. Besonders weit fortgeschritten ist in dieser Hinsicht die Erdölindustrie (Rohöldestillation, Reforminganlagen, Pyrolyseprozesse, Gastrenneinrichtungen usw.). Der Automatisierungsgrad von Ammoniakgroßanlagen mit Kapazitäten von mehr als 1000 Tagedestonnen liegt heute schon bei über 90%. Nachdem zunächst Plastverarbeitungsanlagen mit Erfolg prozeßautomatisiert worden sind, statten man in zunehmendem Maße auch Betriebe zur Polymerenproduktion mit PR-Technik aus. So ist z. B. im VEB Chemiefaserwerk Premnitz schon seit 1971 eine Großanlage zur kontinuierlichen Herstellung der Polyakrylnitrilfaser Wolpryla in Betrieb. Mit Hilfe von zwei Robotron 2000 wurden nicht nur der chemische und fasertechnische Teil, sondern auch die Rohstofflagerung, die Lösemittelrückgewinnung, die Luft- und Klimaanlage sowie die Nebenanlagen automatisiert. Durch den PR-Einsatz in Produktionsanlagen zur Enzymgewinnung konnte 1971 in der DDR ein weiteres Gebiet für die Automatisierung erschlossen werden. Auch für die Herbizid- und Farbstoffproduktion, die Chlor- und Fluorkohlenwasserstoffgewinnung, sowie die Schwefelsäure- und Harnstoffproduktion, die Papier- und Zementindustrie, die Methanolsynthese, die Phthalsäureanhydridherstellung, die Äthylenoxidgewinnung und die Oxosynthese sind im Weltmaßstab Automatisierungssysteme entwickelt worden. Internationale Einschätzungen besagen, daß gegenwärtig für ungefähr 25% aller Chemieanlagen bzw. für 40% der Erdöl- und petrochemischen Anlagen ein PR-Einsatz wirtschaftlich ist. Der Anteil automatisierungswürdiger Objekte wird aber in der Zukunft rasch weiter zunehmen.

Jeder chemische Produktionsprozeß besteht aus einer mehr oder weniger großen Anzahl aufeinanderfolgender Arbeitsstufen oder Takte. Die Steuerung des vorgeschriebenen Takttablaufes, die sogenannte Sequenzsteuerung, ist schon mit gewöhnlichen Taktsteuergeräten zu bewältigen. Diese Apparate sind viel billiger als PR, und sie lassen sich auch einfacher bedienen. Aber der Computer ist dem Taktsteuergerät trotzdem überlegen, weil er Informationen über den Zustand und Verlauf des Produktionsvorgangs unmittelbar zu prozeßbeeinflussenden Anweisungen ver-



Betriebsarten von Prozessrechnern.

arbeiten kann. In Windeseile berechnet er die günstigsten Verfahrensparameter, mit deren Hilfe er nach dem Rückkopplungsprinzip den Betrieb zu steuern vermag. Die Realisierung von Prozessen mit extremen Druck- und Temperaturbedingungen wird überhaupt erst durch den Rechnereinsatz möglich. Auch katalytisch gesteuerte Synthesen, die in Sekundenbruchteilen ablaufen, sind am besten mit Hilfe von Computern kontrollierbar. Nicht genug damit kann ein PR sogar mehrere verschiedenartige Verfahrensabläufe gleichzeitig steuern.

Zur Überwachung, Steuerung und Regelung chemischer Prozesse werden im allgemeinen Digitalautomaten im sogenannten On-line-Betrieb eingesetzt. Dabei gibt es eine direkte Verbindung zwischen Rechenautomaten und Prozeß, die beim Off-line-Betrieb durch Zwischenschalten der menschlichen Arbeitskraft unterbrochen ist. Die Erfassung von Drücken, Substanzkonzentrationen, pH-Werten, Temperaturen und Analysenwerten in einer chemischen Anlage erfolgt

also beim On-line-Betrieb direkt durch geeignete Meßglieder. Stetig veränderliche Größen werden durch Analog/Digital-Umsetzer in Ziffernfolgen umgewandelt, die der Rechner nach einem vorgegebenen Programm zu Steuerbefehlen verarbeitet. Sind die zur Programmformulierung gehörenden komplizierten Prozeßgleichungen nicht genau bekannt, so können sie unter bestimmten Voraussetzungen auf Grund von Erfahrungswerten nach und nach vom Rechner selbst konkretisiert werden. Die errechneten Befehle werden den Steuereinrichtungen entweder direkt (Betriebsart DDC = Direct Digital Control) oder nach Umwandlung in analog dargestellte Informationen zugeführt. Die Steuereinrichtungen vermitteln sodann den Eingriff in den Prozeß, z. B. das Regulieren der Drücke und Temperaturen, die Korrektur des pH-Wertes oder das Einstellen von Ventilen. Bei der Betriebsart DDC übernimmt der Rechner die Funktionen einer Vielzahl von konventionellen Reglern, und er greift unmittelbar über die Stellglieder in den Prozeß ein. DDC gilt deshalb als die höchste Form der Prozeßführung. Ihre Anwendung empfiehlt sich besonders bei neuen Anlagen.

Im Gegensatz zu gewöhnlichen Rechenoperationen kann die Reihenfolge der Arbeiten bei der Prozeßsteuerung von vornherein nicht immer genau festgelegt werden. So schwankt bekanntlich die Qualität der Ausgangsmaterialien in den Chemiebetrieben oft in weiten Grenzen, und die Produktionsbedingungen sind nicht immer konstant. Beispielsweise kann die Wirksamkeit der Katalysatoren abnehmen, oder in den Wärmeaustauschern können sich nach und nach störende Ablagerungen bilden. Dies bedeutet, daß sich die Steueraufgaben in einer chemischen Anlage ständig ändern. Andererseits müssen aber die Steuerfunktionen eines PR gegenüber dem Prozeß ohne jeden Verzug einsetzen. Die Erfassungs- und Verarbeitungsgeschwindigkeit muß also so hoch liegen, daß ein relativ gleichzeitiges Messen und Regeln gewährleistet ist. Ein guter PR besitzt deshalb eine große, möglichst erweiterungsfähige Anzahl von Kanälen zur Meßwerterfassung und eine hohe interne Rechengeschwindigkeit. Um alle Anforderungen erfüllen zu können, sollte die Speicherkapazität für eine mittlere chemische Anlage etwa bei 32 K Worten ($K = 2^{10}$) und die Rechengeschwindigkeit bei 10^4 bis 10^5 Operationen/Sekunde liegen. Die Bedingungen der Prozeßsteuerung erfordern außerdem, daß die Rechnung erforderlichenfalls zugunsten einer anfallenden Meßwertaufnahme unterbrochen werden kann. PR sind deshalb mit einer Vorrangsteuerung ausgerüstet, d. h., die Maschine unterbricht auf ein Signal vom Prozeß her ihre laufende Arbeit und gibt die Steuerung an ein Programm, nach dem zunächst die dringlichere Aufgabe abgearbeitet wird.

Allein mit der technischen Ausrüstung (mit der Hardware, wie die Fachleute sagen) kann auch der teuerste PR seine Aufgaben nicht erfüllen. Man benötigt dazu noch Modelle und Programme (die sogenannte Software), auf deren Grundlage der Rechner alle die Operationen ausführt, die letztlich zu dem vom Menschen angestrebten Ergebnis führen.

Um einen chemischen Prozeß optimal programmieren zu können, muß man ihn mathematisch modellieren. Das macht Schwierigkeiten, weil viele chemische Reaktionen noch ungenügend formalisiert sind und weil die Verknüpfung der Einzelvorgänge in modernen

Betrieben immer vielfältiger und komplizierter wird. So erfordert beispielsweise die mathematische Beschreibung einer Mineralölaufbereitung 100 bis 300 Prozeßgleichungen mit nicht weniger als 250 bis 500 Unbekannten. Genaue Modelle konnten deshalb bisher nur für sehr begrenzte Systeme ausgearbeitet werden. Die fortschreitende Mathematisierung der chemischen Reaktionen wird aber in der Zukunft auch eine befriedigende Modellierung komplizierter Systeme ermöglichen. Bei einfacheren Prozessen wird man schon gegen Ende unseres Jahrhunderts immer mehr auf Typenmodelle zurückgreifen können, wobei man die entsprechenden »Standardsoftware-Pakete« ebenso wie die Hardware in Baukastenform verwenden kann. Die Entwicklung von Fehlersuchprogrammen und Inspektionssystemen könnte dazu führen, daß die Computer eines Tages sogar Reparaturprogramme für die Produktionsanlage ausdrucken!

Wir stehen demnach auf dem Gebiet der Modellierung, Simulation und optimalen Steuerung von chemischen Systemen am Anfang einer vielversprechenden Entwicklung. Zur Zeit gibt es aber noch eine zu große Diskrepanz zwischen dem Erkenntnisstand der Theorie und ihrer Anwendung in der Praxis. Die Theoretiker sitzen »über den Wolken«, und die Praktiker sind oft nicht in der Lage, die vorhandenen theoretischen Erkenntnisse auf ihre Prozesse anzuwenden. Es ist deshalb notwendig, daß alle Beteiligten in der Zukunft wesentlich enger als bisher zusammenarbeiten.

Die Anwendung der PR-Rechentechnik führte in den letzten Jahren zu einer Zentralisation der Automatik in großen Steuerzentralen. Um die Daten von den zahlreichen Aufnahmepunkten aus verschiedenen Betriebsteilen an die Steuerzentrale weiterleiten zu können, muß man jeden Meßfühler über abgesicherte Kupferdrähte direkt mit der Zentrale verbinden. Die fortschreitende Zentralisierung macht derartige Systeme immer komplizierter, was für die Chemieindustrie sicherheitstechnisch und auch aus anderen Gründen ungünstig ist. Für die Zukunft haben deshalb betriebsnahe Automatikstationen, die die örtlichen Meßwerte erfassen, überwachen, steuern und regeln, in der Chemie





Anlage zur Gewinnung von Aromaten aus Erdöl.

Parexanlagen ermöglichen eine unmittelbare Nutzung der im Erdöl vorgebildeten Normalparaffine u. a. zur Erzeugung von Grundstoffen für die Waschmittelproduktion. Blick auf die Anlage in Schwedt, in der gerade ein defekter Wärmeaustauscher ausgewechselt wird.

Bild Seite 65

Blick auf die Anlagen des VEB Mineralölverbundleitung Schwedt-Heinersdorf. Hier endet eine der Hauptschlagadern im Wirtschaftsleben der RGW-Länder, die in der Baschkirischen ASSR beginnende, über 3000 km lange Erdölleitung »Freundschaft«.

Das ist ein nach dem Baukastensystem aufgebauter Zweikanallaborautomat, der z. B. für Enzymbestimmungen zur Früherkennung von Lebererkrankungen geeignet ist. Die Anzahl der insgesamt durchgeführten klinischen Laboranalysen verdoppelt sich gegenwärtig etwa alle 4–5 Jahre.





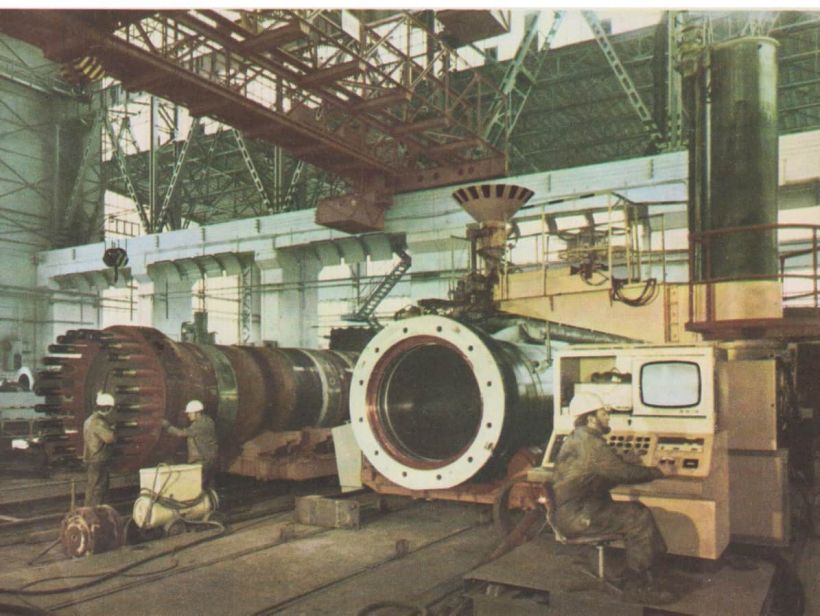
Labormöbelproduktion im VEB Labortechnik Dresden. Von den Laboreinrichtungen der Zukunft werden große Arbeitsflächen und höhere Flexibilität gefordert.

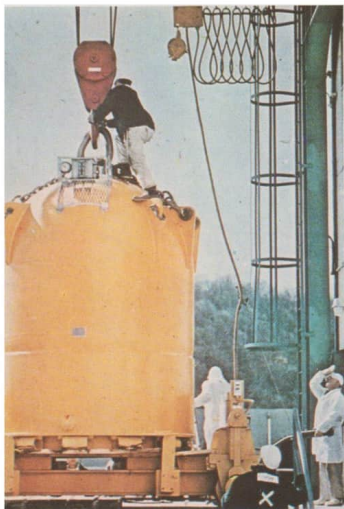


Die Gelchromatographie ist eine moderne Methode zur Bestimmung von Molekulargewichtsverteilungen in hochpolymeren Stoffen.

Rechte Seite
Moderne Spektralanalysengeräte gehören zu den unentbehrlichen Ausrüstungen moderner analytischer Laboratorien.

Destillationskolonnenbau im VEB Germania, Karl-Marx-Stadt.



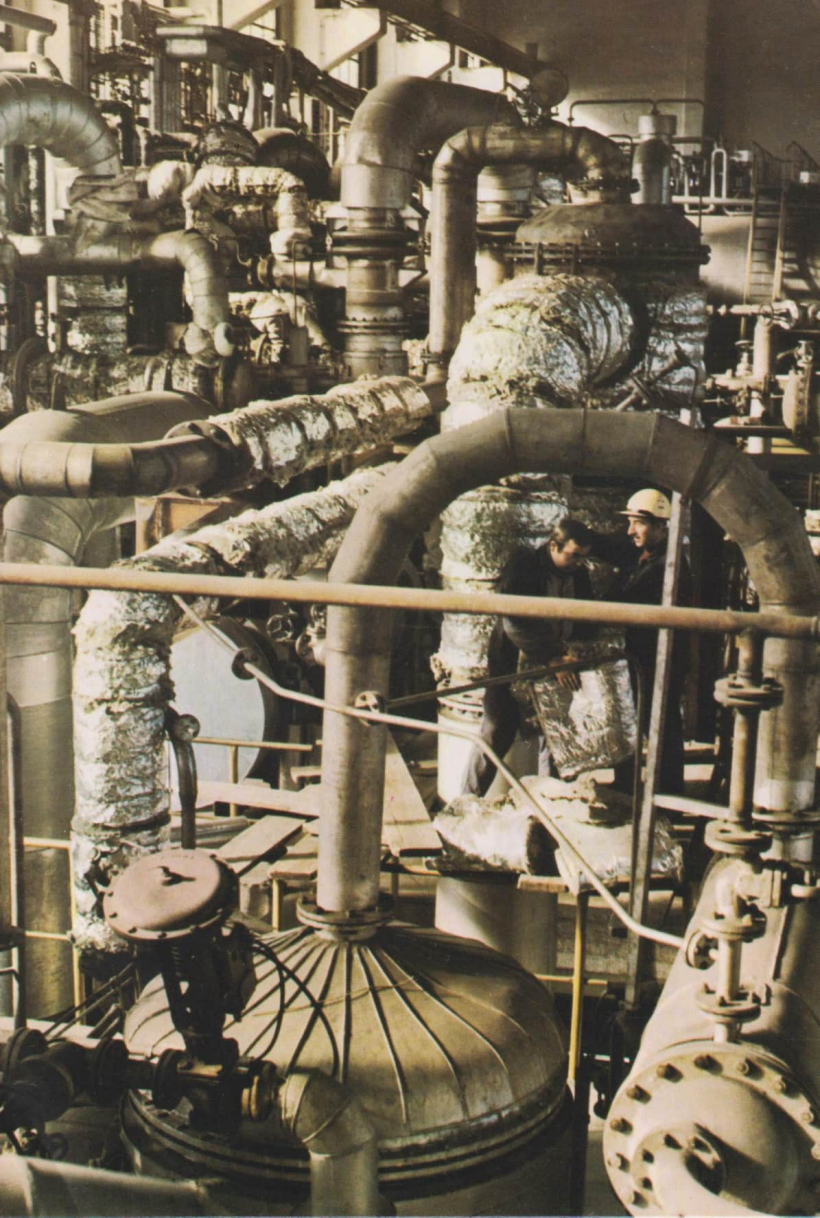


In diesem 50t schweren Behälter kann nur 1 Gramm Kalifornium-252 transportiert werden. Die Verpackung wiegt 50millionenmal mehr als der Inhalt!

Synthetische Edelsteine: Korunde und Spinelle.

Isotopenproduktion in einem Forschungsreaktor des Zentralinstituts für Kernphysik, Rossendorf bei Dresden. Hier werden über 400 verschiedene Radioisotope erzeugt. Jede Woche verlassen 300 Isotopensendungen das Institut.

Rechte Seite
Produktionsanlage zur Herstellung von Kaprolaktam für die Dederonerzeugung. In der DDR wurden 1975 über 41000t Kaprolaktam produziert. Aus einer Tonne können beispielsweise 25000 Paar Damenstrümpfe hergestellt werden.





Herstellung neuentwickelter Sandwichbauelemente aus Polyurethan und plastbeschichteten Stahldeckenelementen für Kühlhäuser und Großviehanlagen auf einer über 100 m langen automatisierten Produktionsstrecke in einem Leipziger Werk.

eine größere Perspektive. Diese Stationen wird man über einzelne Datenkanäle mit dem Hauptcomputer verbinden, so daß der Austausch von Kontrollinformationen und Steueranweisungen gesichert ist. Die über den Betrieb verteilten Mini- und (in zunehmendem Maße) Mikrocomputer werden sozusagen als Satelliten oder Dienstboten der übergeordneten EDV-Zentrale fungieren. Dadurch wird die Gesamtanlage nicht nur flexibler, sondern auch billiger. Für ein auf Kleinrechnern basierendes Bausteinsystem spricht ferner die vereinfachte Suche und Beseitigung von Störungen sowie die hohe Anpassungs- und Ausbaufähigkeit. Nach internationalen Erfahrungen lernt nämlich der Anwender die Möglichkeiten seines PR-Systems erst während der Arbeitsphase wirklich kennen. Die Folge ist, daß er zuerst da und dann dort noch einige Regelkreise und Meßstellen eingebaut haben möchte. Deshalb muß ein etappenweiser Ausbau des Computersystems möglich sein, wobei jede Stufe eine voll arbeitsfähige Anlage darstellen soll. Zusatzausrüstungen müssen die Anpassung der Anlage an jede mögliche Prozeßvariante zulassen.

Es versteht sich beinahe von selbst, daß die Vorteile einer Prozeßsteuerung mit On-line-Automaten nur dann zur Geltung kommen können, wenn die Geräte mit hoher Zuverlässigkeit arbeiten. Den Ausfall eines normalen Reglers kann man zur Not manuell ausgleichen, aber beim Defekt eines DDC-betriebenen Rechners besteht die Gefahr, daß der gesamte Prozeß zusammenbricht. Deshalb ist es verständlich, wenn bei Umfragen in einigen 100 Industriebetrieben die Zuverlässigkeit der PR noch vor dem Wartungsaufwand und Preis als Hauptkriterium für die Beurteilung der Gebrauchswert-Kosten-Relationen ermittelt wurde. Die mittlere ausfallfreie Zeit für einen PR liegt heute in der internationalen Spitze bei über 10 000 Stunden. Die durchschnittliche Laufzeit zwischen zwei Störungen wird mit etwa 50 Tagen bei einer Verfügbarkeit von über 99,5% angegeben. Bei kritischen chemischen Prozessen kommt es jedoch praktisch auf eine 100%ige Sicherheit an. In größeren Anlagen läßt man deshalb gelegentlich einen zweiten Rechner »leer« mitlaufen, auf den dann im Havariefall umgeschaltet wird.

Wer sich einen Rechenautomaten kauft,

erwartet natürlich Rationalisierungseffekte. Obwohl aber ein ordentlicher Computer ganze Berge von Zahlen auszuspucken vermag, kann er ausgerechnet seine eigene Effektivität meist nicht mit der wünschenswerten Klarheit ziffernmäßig belegen. Die immer wieder ins Feld geführte Einsparung von Arbeitskräften fällt in den mit klassischer MSR-Technik gut ausgerüsteten modernen Chemiebetrieben oft weniger stark ins Gewicht, als ein Außenstehender annehmen könnte. Andererseits wurden z. B. in einem sowjetischen Erdölwerk im Jahre 1968 durch eine Vollautomatisierung von ursprünglich 800 Arbeitskräften nicht weniger als 788 (!) freigesetzt. Bei ausgereiften Produktionsunterlagen kann man im allgemeinen eine Gewinnsteigerung von etwa 2 bis 6% einkalkulieren. Nach anderen Schätzungen lassen sich unter den gegenwärtigen Bedingungen etwa 15% der für die Wartung der verfahrenstechnischen Anlagen erforderlichen Kosten einsparen, für die man in der Chemie etwa 6% des Umsatzes veranschlagt.

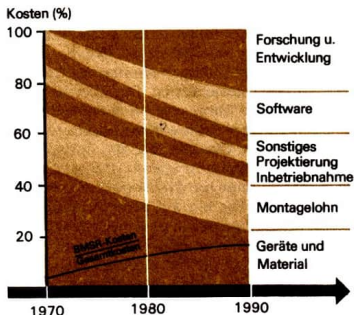
Bedeutende wirtschaftliche Effekte können bei der Inbetriebnahme komplexer Anlagen erzielt werden. So sind Fälle bekannt geworden, in denen sich große PR-Systeme schon allein dadurch bezahlt gemacht haben, daß die unproduktive Anfahrtzeit einer neuen Großanlage entscheidend verkürzt werden konnte. Abgesehen davon garantiert der PR selbstverständlich eine gleichmäßigere Produktion. Neben der Erfüllung seiner Hauptfunktionen Sequenzsteuerung und DDC gibt er jederzeit ausführliche Informationen über den Ablauf des Prozesses, z. B. teilt er dem Operator mit, wann ein neuer Takt eingeleitet wird und wann er beendet ist. Er überwacht die Analogsignale daraufhin, ob sie innerhalb der vorgegebenen Alarmgrenzen liegen. In Abhängigkeit vom Rechenkomfort wird eine auftretende Störung entweder nur gemeldet, oder es wird Alarm ausgelöst und ein Abschaltprogramm angefahren. Ebenso werden die digitalen Signale überwacht und damit z. B. überprüft, ob Ventile offen oder geschlossen sind. Die Meßwerte werden angezeigt und registriert.

Darüber hinaus lassen sich mit einem PR auch andere Aufgaben lösen. So kann er z. B. regelmäßig den Lagerbestand ausdrucken,

Auftragstermine annehmen, betriebswirtschaftlich und verfahrenstechnisch wichtige Daten automatisch protokollieren, auswerten und archivieren oder die Lohnabrechnung durchführen. Das ist wichtig, weil die Auslastung der wertvollen Apparate Vorbedingung für eine befriedigende Rentabilität ist. Durchschnittswerte um 50% (UdSSR) und 65% (DDR), wie sie Anfang der 70er Jahre angegeben wurden, sind dafür einfach noch zu gering.

Die Frage, ob Prozeßrechner wirtschaftlicher sind als konventionelle Steuerungseinrichtungen, wird auch von Fachleuten oft nur mit einem »Ja« beantwortet. In der amerikanischen Fachliteratur hat man als Effektivitätskriterium einen sogenannten »break even point« definiert. Das ist die Anzahl der Regelkreise, bei der die Kosten beider Systeme gleich groß werden und oberhalb derer ein Computersystem billiger wird. Ein mittlerer Prozeßrechner mit allem Drum und Dran (z. B. eine Robotron 4000) kostet fast 2 Mill. Mark, ein einfacher Regler aber nur 1000 bis 2000 M. Der »break even point« läge hier bei mehr als 1000 Regelkreisen. Diese Zahl wird auch in großen Chemiefabriken nur selten erreicht. Deshalb liegen die Investkosten eines Computersystems vorläufig meist höher als bei konventionellen Steuerungseinrichtungen. Auch die für die Inbetriebnahme und Einpassung in den Fluß der Material- und Informationsströme zu erbringenden Vorleistungen sind nicht zu unterschätzen. So müssen heute bei der Einsatzvorbereitung einer mittleren PR-Anlage in der Chemie im Durchschnitt 50 Fachleute ein ganzes Jahr lang arbeiten. In der chemischen Industrie der DDR sind gegenwärtig immerhin fast 1% der Gesamtbeschäftigten mit der Einsatzvorbereitung von Rechentechnik beschäftigt. Damit dieser Aufwand kleiner wird, sollten wir künftig der Nachnutzung vorhandener Programme sowie der Gemeinschaftsarbeit von EDV-Spezialisten und Anwendern größere Aufmerksamkeit schenken.

Aus diesen Gründen kann man einen PR nicht in blinder Nachahmung irgendwelcher Modetrends anschaffen, sondern ausschließlich nach gründlichen Analysen und Überlegungen. Erfahrungen aus der Mineralölwirtschaft besagen, daß die Prozeßrech-



Entwicklung der Kosten für große Automatisierungsanlagen der Chemieindustrie von 1970 bis 1990 (nach Britall 1972).

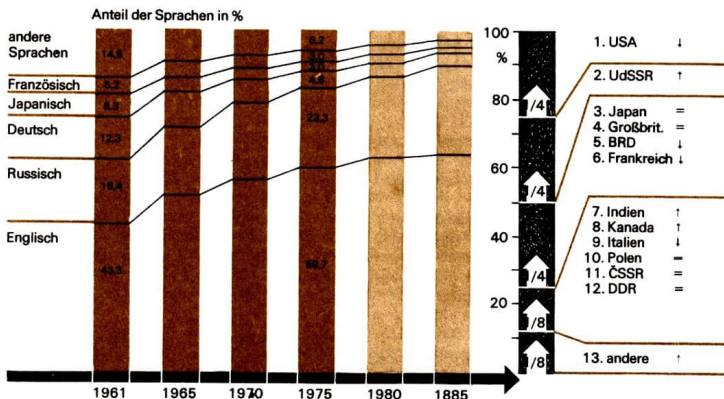
nerkosten nicht mehr als 2% des Gesamtinvestitionswerts ausmachen sollen: Unter nordamerikanischen Verhältnissen wurde 1966 als niedrigste Kapazitätsgrenze für eine Rechnerausrüstung bei der Produktion von Äthylen und Ammoniak 300t/Tag, bei Vinylchlorid 200t und bei Styrol-Butadien-Kautschuk sowie Äthylenoxid 100t/Tag angegeben. Mit dem zu erwartenden Rückgang der Computerpreise durch Rationalisierung der Fertigungsprozesse und mit der fortschreitenden Entwicklung kleinerer Einheiten als Bestandteile von Baukastensystemen wird es jedoch in der Zukunft zu einer massenhaften Ausstattung der chemischen Produktion mit PR-Technik kommen.

Aber der Computer unterstützt die Chemiker nicht nur bei der Rationalisierung von Haupt- und Hilfsprozessen der Produktion. Auch manch andere Aufgabe kann damit schneller, besser und billiger gelöst werden. So hat z. B. der US-Chemiekonzern Dupont de Nemours seine Rechenautomaten unter anderem dazu verwendet, um 153 000 zwei- und dreisilbige Phantasiewörter zur Benennung der in wachsender Zahl von der Firma produzierten Erzeugnisse herauszufinden. Vor allem aber kann die Arbeit mit der Literatur rationalisiert werden. Das ist auch dringend notwendig, denn

Der Zeitfonds bleibt, aber die Informationsflut wächst!

Bis in die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts war die in einer Fachzeitschrift niedergelegte Originalmitteilung, abgesehen vom mündlichen Erfahrungsaustausch, die einzige Informationsquelle für den Chemiker. Aber schon damals gaben die Mängel dieser langwierigen Informationsvermittlung Anlaß zur Kritik. Im Jahre 1830 brachte man deshalb eine Zeitschrift heraus, in der nicht die Originalaufsätze der Autoren selbst, sondern nur kurze Inhaltsangaben, sogenannte Referate, veröffentlicht wurden. Diese Zeitschrift hieß »Pharmazeutisches Centralblatt«. Sie mündete später in das weltbekannt gewordene »Chemische Zentralblatt«, dessen erster Jahrgang (1897) insgesamt 2832 Referate enthielt. 1969, als es zum letzten Mal erschien, wurden jede Woche über 3000 Referate auf 320 Druckseiten publiziert, obwohl damit noch nicht einmal die Hälfte der chemischen Weltliteratur erfaßt worden war. Gegenwärtig

Anteil verschiedener Sprachen an der chemischen Zeitschriftenliteratur mit Prognoseversuch sowie Rangfolge der Länder nach Maßgabe ihres Beitrags zur Chemieliteratur 1975 mit Entwicklungstendenz (Pfeile).



sind die wichtigsten referierenden Informationsquellen des Chemikers die »Chemical Abstracts« (USA, seit 1907) und das »Referativnyj Zhurnal Chimija« (UdSSR, seit 1953), in dem besonders schnell und ausführlich auch die chinesische Fachliteratur erfaßt wird. Daneben kommen in Japan noch die »Complete Abstracts of Japanese Chemical Literatures« sowie in Frankreich (seit 1940) die chemischen Serien des »Bulletin signaletique« heraus.

Mitte des 19. Jahrhunderts erschienen auf unserem Erdball jährlich etwa 10 Zeitschriften, die sich mit Chemie befaßten. Im Jahre 1922 waren es bereits 2000, und jetzt findet man Publikationen mit chemischer Thematik in nicht weniger als 12000 Journalen! Die Hälfte aller Chemieartikel wird jedoch von nur 325 Zeitschriften produziert, so daß die Zahl der für die Chemie im engeren Sinne wichtigen Publikationsorgane mit etwa 1000 hoch genug beziffert ist.

Allein im Dezennium der 60er Jahre hat sich die chemische Fachliteratur mit jährlichen Zuwachsraten von etwa 8% verdoppelt. Dazu kommen heute noch ungefähr 3000 Bücher, 1000 Dissertationen und (1975) zirka 70000 Patentschriften. Gegenwärtig erscheint in jeder Minute eine relevante Chemieveröffentlichung! Von 1950 bis Ende 1975 wurden

in den »Chemical Abstracts« mehr als 5,3 Mill. Publikationen registriert! Schon der bloße Gedanke, daraus einige ganz bestimmte Arbeiten herausuchen zu müssen, jagt einem die Gänsehaut den Rücken hinunter. Wird die Chemie zerplatzen, oder handelt es sich bloß um eine Art »Umweltverschmutzung« mit Daten?

Was immer man darauf auch zu antworten geneigt ist, feststeht, daß das Informationsangebot im letzten Jahrzehnt eine völlig neue Qualität erreicht hat. Aber für die Praxis der Informationsauswertung ist in vielen Chemielaboratorien noch immer die individuelle Arbeitsweise unserer Vorfahren charakteristisch: Wer sich über Darstellung und Eigenschaften einer bestimmten Verbindung informieren möchte, der geht brav in die nächstgelegene Fachbibliothek und durchsucht geduldig die Register von Handbüchern und Referatezeitschriften, bis er einen Hinweis findet. Dazu kommt das routinemäßige Literaturstudium der Fachzeitschriften. Diese mühsame Tätigkeit kann mehr als die Hälfte der Arbeitszeit eines Chemikers verschlingen, ganz abgesehen davon, daß es wohl nur sehr wenige Orte auf der Welt geben wird, an denen die Informationen eines Spezialgebiets wirklich hundertprozentig zur Verfügung stehen. Aber was hülfte dies auch angesichts der Tatsache, daß beispielsweise ein Elektrochemiker 66 Zeitschriften durchsehen müßte, um 90% aller neuen Veröffentlichungen überhaupt nur zur Kenntnis nehmen zu können. Wenn er 32 Zeitschriften erfaßt, so macht er sich mit etwa dreiviertel der neuen Arbeiten bekannt; und um zur Hälfte auf dem laufenden zu sein, muß er immerhin noch 11 Zeitschriften regelmäßig durcharbeiten. Selbst der Laie spürt bei diesen Schwierigkeiten: Das Problem schreit geradezu nach Dokumentation und Automation!

Ein wichtiges Mittel zur Rationalisierung der Information ist schon die Anwendung des Mikrofilms, mit dem eine beliebige Anzahl von Mitarbeitern eines Betriebes oder eines Institutes den interessierenden Artikel erforderlichenfalls noch am Tage des Eintreffens auf den Tisch bekommen kann. Diese postkartengroßen Planfilme oder Mikrofiches, auf denen nicht weniger als 60 normale Manuskriptseiten Platz finden, bieten auch eine

Möglichkeit, die von den herkömmlichen Fachzeitschriften wahrgenommenen Funktionen der Informationsverbreitung und -aufbewahrung zu trennen. Dazu veröffentlicht man von den Originalarbeiten nur noch aussagekräftige (jedoch über die herkömmlichen Referate hinausgehende) Zusammenfassungen, mit denen viele sehr schnell über vieles informiert werden können. Die ausführlichen Texte stehen auf platzsparenden Mikrofiches für das detailliertere Studium durch die wenigen Spezialisten bereit. Seit Anfang 1977 wird dieses zukunftssträchtige Prinzip in der gemeinsam von den chemischen Gesellschaften Englands, Frankreichs und der BRD herausgegebenen neuen Zeitschrift »Journal of Chemical Research« zum ersten Mal konsequent verwirklicht.

In einen gewöhnlichen Karteikasten von 19 cm Länge passen ungefähr 600 Mikrofiches, die immerhin 36 000 Seiten zu fassen vermögen. Auf diese Weise kann man selbst die größte Arbeitsbibliothek noch im Schreibtisch unterbringen! Ein Mikrofilmarchiv spart gegenüber der Originalsammlung nicht nur über 90% Platz, sondern verkürzt auch die Suchzeit um 75%. Es ermöglicht, klassische Recherchehilfsmittel anzuwenden und die EDV zu nutzen.

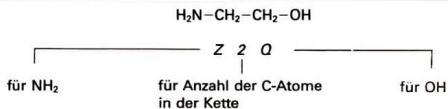
Wenn »nur« einige tausend Belege zu speichern sind, leistet auch die Lochkarte noch gute Dienste. Darüber hinaus aber kann bloß der Rechner helfen. Besonders geeignet ist der Computer für alle Probleme, die sich mit Hilfe chemischer Strukturen oder Strukturfolgen beschreiben lassen. Die Frage nach Partialstrukturen¹ und Reaktionen kann sinnvoll überhaupt nur beim Einsatz von Computern beantwortet werden.

Brauchbarkeit und Nutzen eines Dokumentationssystems werden schon mit der Auswahl der Verschlüsselungsmerkmale vorbestimmt. Dabei erweist es sich als vorteilhaft, daß die Chemie eine einheitliche Formelsprache besitzt. Vornehmlich aus diesem Grunde gehören die chemischen Informationsdienste zu den am weitesten fortgeschrittenen in der

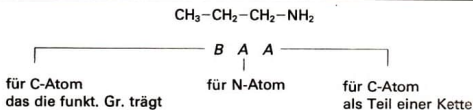
1 Partialstrukturen: Gemeinsame Merkmale von Verbindungsklassen bzw. von deren allgemein gehaltenen Strukturformeln (Typ Markush-Formeln). Beispiel: Alkyl-NH_2 bzw. R-NH_2 .

Tabelle 4. Verschlüsselung von Chemieformeln für die EDV

Äthanolamin in
Wiswesser-Notation mit
Orientierung auf Anzahl
der C-Atome u. Art der
funktionellen Gruppen



Propylamin nach
Gremas-Code mit
Orientierung auf Art u.
Bindung der funktionellen
Gruppen



Teilstruktur in
topologischer Verschlüsselung
mit Orientierung
auf Bindungsart der Atome
(Die älteren Codes
werden bei topol. Verschlüsselung
zur Vorauswahl beibehalten)

Struktur	Atom		Bindung		Bindung		Bindung	
	Art	Nr.	mit	Art	mit	Art	mit	Art
H-N ¹ -H	N	1	2	1				
H-C ² -H	C	2	1	1	3	1		
C ³ -H	C	3	2	1	4	2	...	...
C ⁴ -H	C	4	3	2	5	1		
C ⁵ =O ⁷	C	5	4	1	6	1	7	2
-C ⁶ -	C	6	5	1	...	...		
	O	7	5	2				

Bindungsart: 1 $\triangleq$ einfach, 2 $\triangleq$ doppelt

Welt. Chemische Formeln werden heute noch überwiegend mit Hilfe der Wiswesser-Li-
nearnotation verschlüsselt. Abgesehen von
den Schwierigkeiten beim eindeutigen Be-
zeichnen von Teilstrukturen besteht ihr Haupt-
nachteil darin, daß sie keine befriedigende
Erfassung von Markushformeln ermöglicht.
(Markushformeln sind Strukturformeln, in
denen bestimmte Details, z.B. die Art und
Stellung einer funktionellen Gruppe, nicht
genau fixiert worden sind. Man verwendet sie
deshalb besonders gern in der Patentlitera-
tur.) Diese Probleme umgeht das in der BRD
(Farbwerke Hoechst) entwickelte System
»Gremas«. Mit diesem Code wird die Art des
zu einer funktionellen Gruppe gehörenden
Kohlenstoffatoms gekennzeichnet, wobei
Ausdrücke verwendet werden, die jeweils aus
drei Buchstaben bestehen (Dreierterme). Das

System eignet sich auch für die Suche nach
Teilstrukturen. Bei Computerrecherchen fin-
det sich unter zehn nachgewiesenen Ver-
öffentlichungen im Durchschnitt nur eine, die
das Problem nicht berührt. Eine weitere Ver-
feinerung erlaubt die topologische Verschlüs-
selung. Man gibt hier nur an, welche Atome
vorkommen und wie sie miteinander verbun-
den sind. Damit ist jede Struktur eindeutig zu
beschreiben. Die topologische Recherche ist
aber ziemlich teuer, weil sie viel Computerzeit
kostet. Deshalb wendet man sie meist nur auf
einen vorausgewählten Teil des Speichers
an.

Nach diesen Erläuterungen wird mancher
vielleicht sagen, daß sich die Chemie zum
Glück nicht bloß in Formeln erschöpft. Das
mag sein, aber leider nötigt das dem Do-
kumentalisten eine zweite Verschlüsselungs-

technik ab, die bedauerlicherweise noch mehr Schwierigkeiten macht, weil selbst die Sprache der Wissenschaftler nicht absolut eindeutig ist. Von den Fachleuten erfahren wir, daß man Sachverhalte entweder mit einem genormten oder mit freiem Vokabular einordnen kann. Bei dem idealsten, wenn auch teuersten Verfahren werden freie Stichwörter angewendet und nachträglich miteinander verknüpft. Ein derartig hierarchisch geordnetes Vokabular heißt Thesaurus. Es ist wegen der fortschreitenden Wissenschaft nie komplett, aber auf die Dauer wird wohl keine wissenschaftliche Disziplin (und erst recht nicht die Chemie) ohne Thesaurus auskommen können.

Das Angebot der Chemiedokumentationsdienste ist in den letzten Jahren ständig gewachsen (Ende 1972 standen beispielsweise in der DDR nicht weniger als 71 chemische Informationsmittel zur Verfügung). Gleichzeitig war eine zunehmende Spezialisierung zu beobachten. Die Bedürfnisse der Nutzer haben aber in der Chemiedokumentation auch zu einer starken Zentralisierung und zu einer verstärkten internationalen Zusammenarbeit geführt, wobei den Möglichkeiten zur Anwendung zeitsparender Computerrecherchen besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird.

Vom Chemical Abstracts Service der Amerikanischen Chemischen Gesellschaft ist bereits Anfang 1975 die dreimillionste chemische Verbindung in den Computer des 1965 gegründeten »Chemical Registry Systems« eingegeben worden. Dieses System enthält die Strukturformeln und Namen der entsprechenden Stoffe nebst einigen Millionen dazugehöriger Literaturstellen. Mit seiner Hilfe lassen sich beliebige Teilstrukturen recherchieren sowie Verbindungsbezeichnungen in Strukturformeln umwandeln und umgekehrt.

Auch die Internationale Dokumentationsgesellschaft für Chemie (IDC) in Frankfurt/Main und die Informations- und Dokumentationsabteilung der Gesellschaft deutscher Chemiker (GDCh) in Westberlin übernehmen Computerrecherchen in der chemischen Literatur. Beliebige Verbindungen und Partialstrukturen können ebenso abgefragt werden wie Reaktionen und Reaktionstypen sowie Kombinationen zwischen beiden.

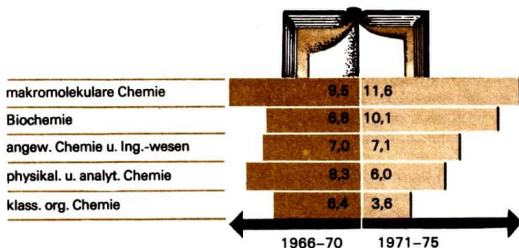
Die anorganische Chemie wird von den Dokumentationsdiensten bisher noch etwas stiefmütterlich behandelt, obwohl auch hier die anschwellende Informationslawine so groß geworden ist, daß sie mit herkömmlichen Mitteln kaum mehr zu bewältigen ist. So umfaßt das weltbekannte »Gmelinsche Handbuch der anorganischen Chemie« bereits 262 Bände mit 86 000 Seiten (1974) bei einem jährlichen Zuwachs von zwölf bis fünfzehn Bänden mit insgesamt 6000 Seiten. Ein von der GDCh-Abteilung in Westberlin angebotenes Magnetband speichert jährlich 18 000 Veröffentlichungen aus zirka 400 Zeitschriften der anorganischen und physikalischen Chemie. Einen ähnlichen Magnetbanddienst gibt es auch für die chemische Verfahrenstechnik.

Die als Chemical Abstracts (CA)-Condensates bezeichneten Magnetbänder des Chemical Abstracts Service gestatten die Computerrecherche aller Referate, die in den Chemical Abstracts erscheinen, und das waren allein im Jahre 1975 immerhin rund 450 000 Stück, von denen etwa 40% anorganische Probleme betrafen. Die Ca-Condensates entsprechen in Aufbau und Inhalt den gedruckten Chemical Abstracts. Die Referate sind lediglich auf Bändern zu »Condensates« verdichtet. Deshalb läßt sich auch nur nach Wörtern und Wortfragmenten recherchieren. Eine wichtige Ergänzung dazu bietet das Magnetband Chemical Abstracts Subject Index Alert (CASIA), das auch nach Formeln abgefragt werden kann.

Der Chemical Abstracts Service gibt außerdem wöchentlich noch einen Informationsdienst »Chemical Industry Notes« (CIN) in gedruckter und maschinenlesbarer Form heraus, der über 70 Industrie- und Handelszeitschriften aus aller Welt im Hinblick auf chemiewirtschaftliche Aspekte erfaßt. Für die Belange der RGW-Länder auf diesem Gebiet wird gegenwärtig in Prag ein automatisiertes Speicher- und Suchsystem erarbeitet.

Übrigens werden jetzt auch die Register eines solch bekannten Dokumentationswerks wie »Fresenius' Zeitschrift für analytische Chemie«, in dem seit 1862 alle aktuellen Ereignisse auf dem Gebiet der anorganischen, organischen und biochemischen Analytik gesammelt werden, mit Computerhilfe an-

Durchschnittlicher jährlicher Zuwachs der Chemieliteratur auf Spezialgebieten in Prozent.



gefertigt, wodurch sie andererseits auch der Computerrecherche zugänglich geworden sind. Zur Zeit werden hier jährlich etwa 6000 Arbeiten referiert. Es gibt sogar Überlegungen, für alle wichtigen Chemiehandbücher (wie Gmelin für die anorganische, Beilstein für die organische Chemie sowie einige angrenzende Werke, wie das Landolt-Börnsteinsche Tabellenbuch) ein Generalregister aufzustellen, um nach magnetischer Speicherung den schnelleren maschinellen Zugriff zu sichern.

Die sozialistischen Länder haben 1971/72 mit dem Aufbau eines komplexen Informationssystems der Chemie (INFORCHIM) begonnen, das den steigenden Anforderungen der nächsten Jahrzehnte gerecht werden soll. Gegenwärtig besteht es aus 5 miteinander verbundenen Teilsystemen.

Eine zentrale Stellung kommt dabei dem automatisierten Teilsystem »Chemie und chemische Technologie« zu, das auf der Grundlage gemeinsamer Arbeiten des Zentralinstituts für Information und Dokumentation der DDR (ZIID) sowie des Unionsinstituts für wissenschaftlich-technische Information und Dokumentation der UdSSR (VINITI) aufgebaut wird. So entstand zunächst die Signal(Titel)information Chemie, mit der heute in 39 Serien binnen 30 Tagen Publikationen aus über 12000 Zeitschriften erfaßt werden. Als Grundlage für die Dokumentenrecherche wurde ein zweisprachiger Chemiethesaurus ausgearbeitet. Die Entwicklung des automatisierten Informationsrecherchesystems SPRESI (Speicherung und Recherche struktureller chemischer Informationen) ermöglicht die Bereitstellung von Unterlagen über

Eigenschaften, Reaktionen und Verwendungsmöglichkeiten chemischer Verbindungen und Industrieerzeugnisse. In den Speicher des Systems sollen täglich rund 1600 Dokumente mit Angaben und – soweit erforderlich – topologisch verschlüsselten Strukturformeln zu etwa 2000 Verbindungen eingegeben werden. Programme und Magnetbanddienste für die selektive Informationsverbreitung und die rückschauende Recherche sind in Vorbereitung. Für das Referativnyj Zurnal Chimija und den Informationsdienst Organische Chemie der DDR werden ab 1976 die Register nach dem SPRESI-Verfahren automatisch aufbereitet und auf diese Weise auch umgekehrt für die maschinelle Recherche zugänglich gemacht.

Über das Teilsystem »Austausch von Studien« können die INFORCHIM-Nutzer mit Unterlagen zu aktuellen Chemieproblemen sowie mit Studien zur Entwicklung der Chemieindustrie in den RGW-Ländern versorgt werden. Die Teilsysteme »Verbreitung gedruckter Informationsmittel« und »Informationsversorgung auf Basis einmaliger Anforderungen« dienen dem Austausch schwer zugänglicher Materialien bzw. der Bereitstellung von Dokumenten über Spezialprobleme. Aus dem automatisierten Teilsystem »Handelsökonomische Informationen« werden besonders die Chemiewirtschaftler Nutzen ziehen.

Der beharrliche Ausbau des Systems INFORCHIM setzt für die internationale Chemiedokumentation ganz neue Maßstäbe. Es schafft die Möglichkeit, alle Chemieveröffentlichungen bei voller Ausnutzung der Vorteile einer sozialistischen Wirtschaftsführung mit geringstem Aufwand arbeitsteilig auszuwer-

ten und die Dokumentationsarbeit zentral durchzuführen. Angaben über chemische Verbindungen und sonstige Chemieprobleme werden nur noch an einer Stelle gespeichert. Den ohnehin über Rechentechnik verfügenden Interessentengruppen wird man lediglich die Speicherduplikate zur Auswertung übergeben.

Wie sich jedoch die Dinge auch entwickeln mögen, der Notwendigkeit einer gründlichen Arbeit mit der Fachliteratur kann sich heute niemand mehr entziehen. Wohl aber findet man überall und jederzeit Chemiker, die lieber experimentieren, und andere, denen es mehr liegt zu rechnen. Die Frage, welche von beiden wohl die besseren Chemiker sein mögen, wird man heute noch in den meisten Fällen mit dem verwunderten Hinweis auf die zuerst genannten abtun. Chemie ist eine experimentelle Wissenschaft, das lernen schon die Oberschüler. Aber die unbestreitbare Tatsache, daß das in der Vergangenheit so war und wohl auch heute noch stimmt, bedeutet nicht, daß es in dieser Ausschließlichkeit für alle Zeiten so bleiben wird. Mathematik und Computer breiten sich auch in der chemischen Forschung aus, und immer öfter erklingt der für die Ohren eines braven Chemikers ziemlich ketzerische Ruf:

Rechnen statt experimentieren!

In einer Zeit, in der man für die rechnerische Auswertung des Experimentes mit Rechenschieber und Logarithmentafel gegenüber dem vorangegangenen Versuch das Vielfache an Zeitaufwand benötigte, konnten solche Aufforderungen freilich nur dem Gehirn wirklichkeitsfremder Liebhaber für das Spiel mit unübersichtlichen Zahlenkolonnen entspringen. Inzwischen hat sich das Bild nicht nur aus dem Grunde gewandelt, weil die Mathematisierung der Chemie große Fortschritte gemacht hat, sondern vor allem deshalb, weil es der Einsatz von Computern gestattet, das Verhältnis des für Experiment und Rechnung erforderlichen Zeitaufwandes diametral umzukehren. Manche behaupten sogar, daß allein der Fortschritt der Computertechnik das Entwicklungsniveau der Theorie in der Chemie bestimme. Das ist zwar

etwas übertrieben, aber die Meinung erscheint keineswegs abwegig, wenn man weiß, daß allein die quantenchemische Berechnung des einfachen Stickstoffmoleküls N_2 in einer sogenannten »Minimalbasis-SCF-Näherung« drei Chemiker mit elektromechanischen Tischrechenmaschinen ein ganzes Jahr lang beschäftigte. Ein Computer der ersten Generation macht dieselbe Arbeit in wenig mehr als einer halben Stunde – und das noch garantiert fehlerfrei. Moderne Computer brauchen dafür kaum zwei Minuten. Schon daraus kann man erkennen, daß die Quantenchemie zu den aussichtsreichsten Anwendungsgebieten der Rechner in der Forschungchemie überhaupt gehört.

Die Quantenchemie hat in den letzten beiden Jahrzehnten wichtige Ergebnisse zu allgemeinen Fragen der chemischen Bindung und der chemischen Reaktionsmechanismen geliefert. Wahrheitsgemäß müssen wir aber sagen, daß sie nicht nur dem Computer, sondern vor allem auch der Einführung neuartiger Konzeptionen und Methoden zu verdanken waren. Trotzdem eignen sich auch die gegenwärtig gebräuchlichen Verfahren noch nicht zur genauen Berechnung von komplizierten Molekülen oder gar von Elementarprozessen. Die noch zu lösende Hauptaufgabe liegt deshalb in der Entwicklung von leistungsfähigen Methoden, die der Spezifik chemischer Systeme genügend angepaßt sind.

Die praktische Anwendung der Quantenchemie, z. B. ihr Einfluß auf die Rationalisierung der experimentellen Chemie durch die Vorausberechnung von Moleküldaten und Reaktionen, hängt von der Weiterentwicklung und dem Breitereinsatz der Rechentechnik ab. Mit den Computern der ersten Generation konnten in den 50er Jahren zunächst nur Teilprobleme gelöst werden. Für die Computer der zweiten Generation wurden Programmsysteme aufgestellt, die eine automatische Berechnung einfacher Moleküle nach einem vorgegebenen quantenchemischen Näherungsverfahren ermöglichten. Auch die ersten rein theoretischen Berechnungen, bei denen im Gegensatz zu den sogenannten halbempirischen Methoden sämtliche Elektronen des betreffenden Atoms oder Moleküls erfaßt werden, führte man auf

Computern der zweiten Generation durch. Derartige Allelektronenrechnungen (ab-initio-Berechnungen sagen die Fachleute dazu) benötigen jedoch sehr lange Rechenzeiten.

Computer der dritten Generation entsprechen diesen Erfordernissen wesentlich besser, aber kostspielig sind quantitative ab-initio-Berechnungen auch heute noch. Trotzdem können sie schon praktische Bedeutung beim Ermitteln der Eigenschaften kleiner Systeme (zweiatomiger Moleküle mit bis zu 50 Elektronen oder mehratomiger mit bis zu 20 Elektronen) bekommen, die experimentell gar nicht oder nur mit großem Aufwand zugänglich sind. Derartige Systeme haben z. B. für die Plasmachemie Bedeutung.

Mit Hilfe von Computern der dritten Generation sollte es in naher Zukunft möglich sein, für mittelgroße Systeme (mehratomige Moleküle mit bis zu etwa 100 Elektronen) relativ kostengünstig halbempirische Näherungsberechnungen durchzuführen. Die Resultate werden Aussagen über spektroskopische, reaktive, strukturelle und andere Eigenschaften gestatten. Quantenmechanisch berechnete Dipol- und Quadrupolmomente von zweiatomigen Molekülen stimmen auf 5 bis 10% (!) mit den experimentellen Werten überein. Eine befriedigende Annäherung ist auch bei den Ionisierungsenergien gefunden worden. Überhaupt kann man alle Ionisierungsenergien berechnen, die aufgewendet werden müssen, um ein einzelnes Elektron zu entfernen. Aber bei den Bindungs-(Dissoziations-) Energien, die den Chemiker aus naheliegenden Gründen besonders interessieren, ist die Übereinstimmung zwischen Theorie und Praxis leider noch ziemlich schlecht. Oft sind die berechneten Dissoziationsenergien nur halb so groß, wie sie sein müßten, und gelegentlich werden sogar negative Werte berechnet.

Ogleich also viele Ergebnisse, insbesondere bei komplizierteren Systemen, noch ziemlich ungenau sind, kann daraus manchmal schon jetzt ein praktischer Nutzen bei der Planung und Auswertung von Experimenten gezogen werden. Wahrscheinlich wird man bereits Anfang der 80er Jahre freie Moleküle von einer Größe, wie sie die Chemie interessieren, mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit berechnen können.

Im Zusammenhang mit dieser Entwicklung wird sich das Schergewicht immer mehr von einer Behandlung der Eigenschaften molekularer Systeme auf das Studium der Dynamik von Elementarprozessen verlagern, wobei im zunehmenden Maße auch biochemische Systeme in die Betrachtung einbezogen werden. Schon ist ein Computerprogramm entwickelt worden, mit dem die Lösung experimenteller Probleme durch theoretische Rechnungen im Automaten möglich sein soll. Anstatt aufwendige Experimente durchzuführen, wird man die entsprechenden Fragen einer solch famosen Zukunftsmaschine stellen. Daraufhin wird das Gerät eine Allelektronenrechnung für das betreffende System durchführen, die Ergebnisse zielgerichtet auswerten und in übersichtlicher Reinschrift die Antwort servieren. Um der Wahrheit die Ehre zu geben, muß man aber sagen, daß die Leistungsfähigkeit des Programms zur Zeit noch ziemlich beschränkt ist. Mehr als kleine zweiatomige Systeme lassen sich auf diese Weise nicht behandeln. An die Berechnung von großen Molekülen und Elementarprozessen ist vorerst noch nicht zu denken. Die Chemie wird deshalb auch bis auf weiteres eine vorwiegend experimentell orientierte Wissenschaft bleiben.

Trotzdem darf man voraussagen, daß sich der Einfluß der theoretischen Chemie auf die Lösung praktischer Aufgaben in der Zukunft wesentlich verstärken wird, denn – so meint der amerikanische Nobelpreisträger Mullikan vielleicht etwas zu optimistisch – »die Ära der Computerchemie, in der Hunderte oder Tausende von Chemikern nicht ins Laboratorium, sondern zur Rechenmaschine gehen werden, ist bereits angebrochen.«

Mehr Elektronik, aber weniger Laborantinnen ...

... das ist auch die Perspektive der Chemielaboratorien. Vielleicht wird das mancher Chemiker bedauern, dem trockenen Argument, daß elektronische Apparate zwar nicht so hübsch, dafür aber auf die Dauer wesentlich effektiver als Laborantinnen sind, wird er sich letztlich doch nicht entziehen können.

Die Aufgaben des analytisch arbeitenden



Geräte zur pH-Messung und -regulierung werden in vielen Industriezweigen eingesetzt. Die modernsten Apparate sind durch Digitalanzeige und Meßgenauigkeiten von $\pm 0,001$ pH, automatische Temperaturkompensation sowie durch Anschlüsse für die externe Meßwertverarbeitung ausgezeichnet.

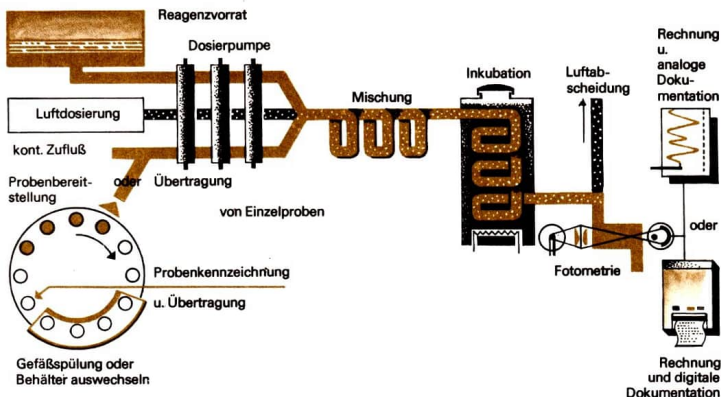
Chemiker sind so vielgestaltig wie die Natur selbst. Sie reichen von der Gesteinsanalyse bis zur Erdöluntersuchung, von der Blutzuckerbestimmung bis zur Getreideanalyse und von der wissenschaftlichen Einzelprüfung bis zur laufenden Betriebskontrolle. Die Analytik ist Grundlage jeder ernsthaften Forschung auf dem Gebiet der Stoffwandlung, und sie ist auch für das Kontrollieren und Steuern von technischen Prozessen unentbehrlich, bei denen Konzentrationsänderungen eine Rolle spielen. Ihre Leistungsfähigkeit ist heute so stark angewachsen, daß selbst noch wenige Moleküle eines bestimmten Stoffes und sogar extrem kurzlebige Zwischenprodukte einer Reaktion erfaßt werden können. Deshalb verwundert es nicht, wenn sich die Zahl der chemischen und physikalischen Meßmethoden nebst ihren vielerlei verfahrensmäßigen und apparativen Formen seit den Anfängen der Chemie zu einer wahren Sintflut ausgewachsen hat, die noch jeden Tag weiter anschwillt. Zugleich klettern in vielen Laboratorien die Probenzahlen auf geradezu schwindelnde Höhen!

Das waren die Ausgangspunkte für eine zielgerichtete Rationalisierung und Automatisierung der Laborarbeit. Damit kann die Arbeitsproduktivität gegenüber der manuellen Arbeitsweise um 300 bis 1000 % gesteigert werden, denn es gibt bereits Automaten, die stündlich mehr als 100 Einzelproben analysieren. Dosieren, Chemikalienzuführung, Reaktion, Messung und Ausdrucken der Ergebnisse benötigen also im Durchschnitt kaum eine halbe Minute!

Die Entwicklung spezieller Automaten-systeme für jede einzelne analytische Aufgabe wäre von vornherein ein aussichtsloses Unternehmen. Art und Umfang der Laborgeräteproduktion werden nämlich nicht nur von den häufig überbetonten Bedürfnissen des Anwenders, sondern auch vom Herstellerinteresse bestimmt. Dieses Interesse läuft auf eine hohe Stückzahl hinaus. Dadurch werden die Geräte billiger, wodurch auch für den Anwender ein Nutzen erwächst.

Bei der Mehrzahl aller in Produktion und Forschung durchgeführten chemischen Analysen werden Konzentrationen von Einzelbestandteilen in mehr oder weniger komplizierten Stoffgemischen bestimmt. Ein Großteil dieser Anforderungen kann mit Hilfe von wenigen – noch dazu automatisierungsfreundlichen – analytischen Grundverfahren, nämlich mit fotometrischen, spektroskopischen, titrimetrischen, elektrochemischen und radiochemischen Methoden befriedigt werden.

Das erste Problem bei der automatischen Analyse einer großen Anzahl von Proben ist deren Identifikation. Bei einfachen Systemen wird sie durch den Vergleich der Reihenfolge von eingegebenen Proben und ausgegebenen Meßwerten gesichert. Darüber hinaus zeichnet sich folgende Entwicklung ab: Der Probe wird beim Eingang ins Automatenlabor eine Ziffernfolge zugeordnet, die man ihr entweder auf einer Lochkarte im Klartext und in maschinenlesbarer Form beibringt oder aber in geeigneter Weise direkt auf die Oberfläche des Probengefäßes aufträgt. Nach beendeter Analyse druckt der Automat das Ergebnis zusammen mit der Probenidentifikation aus, so daß sowohl die Verwechslungsgefahr als auch die zeitaufwendige Schreibearbeit minimiert wird.



Prinzipschema eines modernen Analysenautomaten.

Der automatisierte Analysenprozeß selbst erfordert Kontinuität, was nicht ausschließt, daß der stetige Fluß in kleine, separat zu bearbeitende Teilschritte zerhackt wird. So müssen in Industriebetrieben oft kontinuierliche Stoffströme kontrolliert werden, in der klinischen Chemie dagegen untersucht man Einzelproben. Das Problem der Probentrennung ist in beiden Fällen durch die periodische Zuführung von Luft gelöst worden. So können sich die aufeinanderfolgenden Messungen nicht gegenseitig beeinflussen.

Den meisten Analysenmethoden ist gemeinsam, daß zur Probe zunächst bestimmte Chemikalien zudosiert und danach mit ihr vermischt werden. Diese Reagenzien wird man in wachsendem Umfange für jede einzelne Bestimmung anwendergerecht abgepackt bereitstellen. Vielleicht werden auch immer mehr Reaktionsbehälter für einmaligen Gebrauch Anwendung finden, so daß die Reinigung entfällt.

In den 60er Jahren ist besonders die Automatisierung der Analysengeräte im engeren Sinne vorangetrieben worden. Die Meßwert- erfassung und -verarbeitung dagegen wurden etwas vernachlässigt. Dies führte zwar zu

einem hohen Analysenausstoß, zugleich aber vergrößerte sich auch der Anteil der Schreibarbeiten am Gesamtarbeitsaufwand im Labor. Deshalb war es notwendig, die moderne Labortechnik durch Einrichtungen zur automatischen Erfassung und Verarbeitung der Meßwerte zu ergänzen, wobei die Gaschromatographie in dieser Richtung mit am weitesten fortgeschritten ist. Als zweckmäßige Lösung zeichnet sich ab, die Ausgänge der Analysengeräte so zu gestalten, daß die Meßwerte direkt von einem elektronischen Rechner übernommen werden können. Aus ökonomischen Gründen muß dabei angestrebt werden, dem aufwendigen Rechnersystem jeweils mehrere Analysenautomaten zuzuordnen.

Die Dokumentation der Meßergebnisse erfolgt bei den zur Zeit betriebenen Geräten sowohl analog als auch digital. Bei der analogen Dokumentation wird die Meßgröße in der Regel in Abhängigkeit von der Zeit registriert und sodann mit Hilfe eines Auswertegerätes die Änderung der Meßgröße pro Zeiteinheit dargestellt. Es ist jedoch unverkennbar, daß der Trend dahin geht, die Meßergebnisse digital auszudrücken, also unmittelbar in Form von Ziffern. Aus der Sicht des Anwenders ist überdies zu fordern, daß die Datenausgabe in einer für den Fachmann auf den ersten Blick nutzbaren Form und Anordnung erfolgt. Zu-

sätzliche Schreibarbeit muß in der Zukunft völlig überflüssig werden.

Obwohl bereits viele ausgereifte Analysengeräte angeboten werden, stehen wir doch erst am Anfang einer Entwicklung, die ohne Zweifel zur vollständigen Automatisierung aller Massenanalysen führen wird. Die Hauptlinie des weiteren Fortschritts ist dabei durch den Aufbau kompletter Analysenkanäle mit großer Genauigkeit, hohem Bedienungskomfort und Anschlußmöglichkeiten für EDV bei relativ niedrigen Preisen gekennzeichnet. Die Einzelgeräte werden als gebrauchstüchtige Einheiten angeboten, die sich entsprechend der Vielzahl unterschiedlicher Aufgaben nach dem Baukastenprinzip zu paßgerechten Gerätesystemen zusammensetzen lassen. Dasselbe Meßsystem wird mit einfachem Ausdrucken der Ergebnisse, mit On-line-Meßwerterfassung oder mit Off-line-Meßwertverarbeitung mit und ohne selbsttätige Steuerung des Analysenprozesses betrieben werden können.

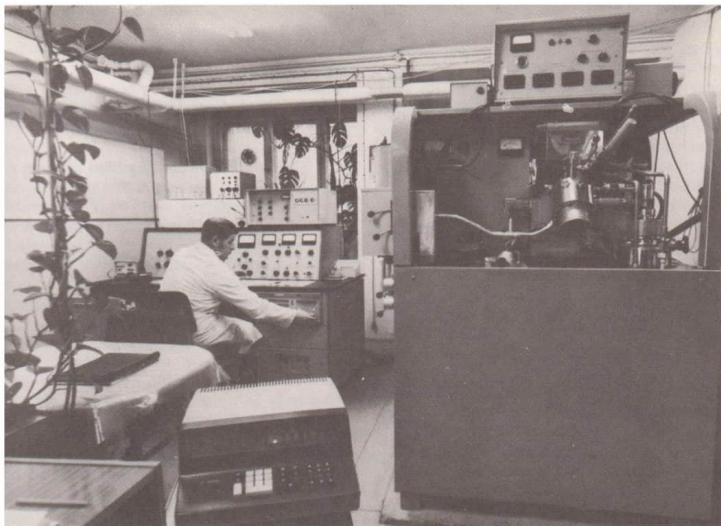
Der zentralisierte Einsatz von Laborautomaten hat sich als besonders effektiv erwiesen. Erforderlichenfalls muß die Auslastung der teuren Aggregate durch eine Umstellung der Labororganisation (etwa durch den Zusammenschluß mehrerer kleiner Laboratorien zu einem Zentrallabor oder auch durch die Bildung eines Benutzerrings) gesichert werden. So ist beispielsweise in der DDR ein Fall bekannt geworden, in dem ein Automatenlabor für klinisch-chemische Untersuchungen 39 angeschlossene medizinische Einrichtungen per Fernschreiber laufend mit den gemessenen Analysenwerten versorgt.

Die Entwicklung der Analysenverfahren läßt erkennen, daß die rein chemischen Methoden in schnellem Tempo durch chemisch-physikalische und physikalische Meßverfahren verdrängt werden, weil in dieser Reihenfolge der Zeitaufwand für die Analyse absinkt und die Genauigkeit steigt. Es wäre aber unfair, wenn man verschweigen wollte, daß gleichzeitig auch die Kosten anwachsen. Während Robert Bunsen (1811 bis 1899) noch erfolgreich in einem Labor experimentierte, dessen Einrichtung auf einen Wert von etwa 1000.— Mark veranschlagt wird, kostet heute ein hochmodernes Speziallabor mit physikalischer Analysentechnik bis zu einigen Millionen

Mark. Die Laboreinrichtungen der Zukunft werden zwar nicht unbedingt teurer, auf jeden Fall aber noch komplizierter und leistungsfähiger sein. Damit wird die Epoche der »handwerkelnden« Analysenchemiker endgültig von einer Ära der »industriellen« Analytiker abgelöst werden. Kein Mensch denkt heute mehr daran, den chemischen Trennungsgang zu machen. In einigen Jahrzehnten aber wird man die Arbeitstechniken der Analytiker aus der Mitte des 20. Jahrhunderts bestaunen wie die Fertigkeiten der Alten beim Umgang mit Steinschleudern. Die Analytiker der Zukunft werden zur Hälfte Chemiker, zu einem Viertel Spezialisten für Analysenautomaten und zu einem weiteren Viertel Fachleute für mathematische Statistik sein. Ihre Hauptaufgabe wird weder in der Messung noch in der zahlenmäßigen Bearbeitung von Analysenwerten bestehen, sondern in der Beschäftigung mit noch effektiveren analytischen Methoden einschließlich ihrer automatengerechten Gestaltung. Sie werden die Versuchskonzeptionen wissenschaftlich durchdringen und die

Tabelle 5. Auflösungsvermögen moderner Analysen- und Trennmethode (nach Blumer 1975)

Methode	Anzahl der getrennten Verbindungen
<i>Spektroskopie roher Gemische:</i>	
Ultraviolett-Spektroskopie	2–5
Infrarot-Spektroskopie	2–5
Fluoreszenz-Spektroskopie	2–5
Massenspektrometrie	10–100
<i>Trennungen:</i>	
Gegenstromverteilung	5–10
Dünnschichtchromatographie	5–10
Destillation	10 und mehr
Säulenchromatographie	20 und mehr
Hochleistungsflüssigkeitschromatographie	20 und mehr
Gaschromatographie mit gepackten Säulen	100 (5 pro C-Zahl)
Gaschromatographie mit Kapillarsäulen	1000 (5 pro C-Zahl)
Kombinierte Methoden im Idealfall	Produkt der Einzelauflösungen



Hochauflösende Massenspektrometer dienen zur Strukturaufklärung organischer Stoffe sowie zur qualitativen und quantitativen Analyse geringster Substanzmengen. In Kombination mit Gaschromatographen zur Stofftrennung und Elektronenrechnern zur Auswertung wird die Massenspektrometrie z.B. zur Identifizierung und Strukturaufklärung von Arzneimitteln und mißbräuchlich benutzten Drogen (Dopingkontrolle im Sport) eingesetzt.

vom Rechner aufbereiteten Analysenergebnisse interpretieren.

Im Vergleich zur Analytik haben sich die Methoden im Bereich der Synthese bisher nur wenig fortentwickelt, so daß der Arbeitsaufwand nach wie vor sehr hoch ist. Früher war der Zeitbedarf für die Analyse im Vergleich zur Synthese außerordentlich groß, jetzt liegen die Verhältnisse in den meisten Fällen umgekehrt. Der Computereinsatz eröffnet nunmehr die Möglichkeit, auch Synthesewege im Labor sowohl systematisch zu planen als auch

zuverlässig zu regeln. So ist es denkbar, daß ein Rechner zusammen mit analytischen Systemen (z. B. Chromatographen, Spektrometern usw.) unmittelbar mit dem Reaktor verbunden wird und die Reaktionsparameter nach dem Prinzip der Rückkopplung steuert. Damit könnte zukünftig auch die Arbeitsmethodik der Synthesechemiker eine neue Qualität erreichen. Das Auffinden neuer, rationeller Wege für die Produktion schon bekannter Substanzen unter Berücksichtigung der verfügbaren Rohstoff- und Energieresourcen wird dabei gleichberechtigt neben der Synthese neuer Stoffe stehen.

Immer diese Entscheidungen!

Aber welches Spezialgebiet wir auch betrachten, die Frage, ob und in welchem Tempo weniger Chemiker und Chemiearbeiter in der Zukunft mehr schaffen werden, hängt nicht nur von ihren Maschinen, sondern mehr noch

vielleicht von der Treffsicherheit ihrer Entscheidungen ab. Die Zahl der Entscheidungen jedenfalls, die vor dem schonungslosen Gütekontrolleur namens Praxis nur ungenügend oder auch gar nicht bestehen, ist im Wirtschaftsleben noch viel zu groß. Manches Chemieprodukt erscheint viel zu früh auf dem internationalen Markt, und viele andere Erzeugnisse werden angeboten, wenn sie schon niemand mehr haben will. Die Erfahrungen der internationalen Chemiewirtschaft sagen jedoch aus, daß der größte Teil derartiger Fehlgriffe auf zu späte Entscheidungen zurückgeht.

Das Problem beginnt bei der Frage, wie man denn eigentlich zu richtigen Entscheidungen kommt. Hier aber fängt das Dilemma an. Nehmen wir z.B. einen modernen Chemiebetrieb. Er besteht aus verschiedenen Anlagen, deren Einfluß auf die vorgegebene Zielfunktion ebenso wie ihr Verflechtungsgrad sehr unterschiedlich ist. Auf Grund dieser mannigfaltigen Zusammenhänge und wegen des großen Informationsumfangs ist der Mensch heute nur noch bedingt in der Lage, aus der Vielzahl der Möglichkeiten in der zugebilligten (meist sehr kurzen) Zeit die optimale Variante auszuwählen. Selbst der ehemals so erfolgreiche amerikanische »Big Boss«, der mit den Füßen auf dem Schreibtisch und einer Flasche Kognak als einziger, aber unentbehrlicher Entscheidungshilfe die dollarträchtigsten Entschlüsse faßte, vermag das nicht mehr zu schaffen. Richtige Entscheidungen können heute keinesfalls mehr nach »Fingerspitzengefühl« getroffen werden, sondern nur auf der Basis von zuverlässigen Informationen. Für deren Speicherung und Verarbeitung stand bis vor einigen Jahren nur das Gedächtnis und eine mehr oder weniger ausgebildete Kombinations- und Urteilsfähigkeit zur Verfügung. Zur optimalen Steuerung eines modernen Werks oder einer komplizierten Forschungsaufgabe sind jedoch eine schnellere und exaktere Informationserfassung und -verarbeitung notwendig. Hier kann ein (hoffentlich richtig programmierter) Computer helfen. Er vermag Informationen nicht nur bergeweise zu speichern, sondern auch in Blitzesschnelle die gewünschten Merkmale richtig herauszusuchen. Er kann alle möglichen Querverbindungen zwischen

den gespeicherten Fakten herstellen und sie entsprechend ordnen – und zwar mit einer beneidenswerten und äußerst vorteilhaften Gleichgültigkeit gegenüber dem Material selbst. Wer aber diese Vorteile nutzen will, muß mit dem Rechner kommunizieren können. Das jedoch ist das Wesentliche! Bei den rührenden Versuchen der EDV-Spezialisten, die Leiter mit den Grundbegriffen vertraut zu machen, bleibt oft genug außer acht, daß die gewiß nicht dummen, wohl aber mit chronischem Zeitmangel kämpfenden Schüler nicht wissen wollen, wie die Uhr funktioniert, sondern wie spät es ist! Andererseits müssen auch die EDV-Kader stärker als bisher zum Verständnis der technischen und organisatorischen Betriebsabläufe befähigt werden, um eine Isolierung der Praxis zu vermeiden.

Aber gaukeln wir uns nichts vor! Ein Computer in der Direktion macht noch lange keine gute Leitung. Was wir für die Zukunft brauchen, sind komplexe wissenschaftliche Leitungssysteme mit vereinheitlichten Informations- und Abrechnungsprozessen nebst integrierter Rechentechnik. Auf dem Gebiet der Entwicklung von automatischen Systemen zur Planung und Leitung der Anlagen, Betriebe und Industriezweige hat sich die Sowjetunion eine führende Position erkämpft. 1975 verfügte in der UdSSR schon jeder fünfte Großbetrieb über ein ASU, wie man nach einer allgemein angewendeten russischen Abkürzung derartige automatisierte Leitungssysteme bezeichnet. Insgesamt waren 2700 ASU eingeführt, darunter etwa 700 automatisierte Systeme zur Steuerung technologischer Prozesse (ASUTP). In der Chemie und Petrochemie wurden bis Anfang 1975 etwa 160 ASUTP in Betrieb genommen. Die durchschnittlichen Kosten betrugen 1 bis 3 Mill. Rubel bei einer Rücklaufdauer von drei Jahren. Typisierte ASUTP befinden sich in der Entwicklung.

Zur Zeit befaßt man sich auch mit der schrittweisen Erprobung und Einführung eines »ASU-Chim« für die Planung und Leitung der gesamten chemischen Industrie. Der Kern dieses Systems besteht in einer ausgeklügelten Methodik zur rationalen Informationserfassung und -verarbeitung. Das zentrale Rechensystem ist mit den wichtigsten Betrieben des Ministeriums unmittelbar über



Moderne Gaschromatographen sind für zahlreiche analytische Zwecke unentbehrlich. Sie werden in zunehmendem Maße mit Computern gekoppelt und zur Prozeßanalyse im Betrieb verwendet.

Telex verbunden und empfängt von ihnen auf der Basis eines vereinheitlichten Belegwesens Informationen über standardisierte Datenträger. Dies ermöglicht eine auf hohem Niveau stehende operative Leitung. Tendenzen zur Nichtplanerfüllung können bereits im Anfangsstadium aufgedeckt werden. Nicht hoch genug sind auch die Möglichkeiten einzuschätzen, nach Variantenrechnungen wissenschaftlich begründete Pläne vorzubereiten.

In den Chemiekombinaten der DDR kann man zumindest von Anfängen der ASU sprechen. Die nächsten Jahre werden auf diesem Gebiet schnell weitere Fortschritte bringen. Mit der Ausarbeitung eines ASU für den Industriezweig wird man jedoch bestenfalls beginnen können.

Angesichts einer so starken Technisie-

rungsperspektive der Leitung erscheint es keineswegs überflüssig, darauf hinzuweisen, daß zur sozialistischen Methode der Wirtschaftsführung auch noch an der Jahrtausendwende die breite Einbeziehung der Werktätigen in den Leitungsprozeß gehören wird. Es gilt deswegen immer wieder, neuartige und wirksamere Methoden zu finden, um die in diesem Leitungsprinzip liegenden Möglichkeiten maximal auszunutzen.

Vielleicht wird die Zahl der unsicheren Leiterentscheidungen in der Zukunft auch absinken, wenn nämlich eines Tages alle häufiger wiederkehrenden Problemsituationen programmiert vorliegen und damit das Ergebnis der Entscheidungsfindung in vielen Fällen sozusagen auf Abruf bereitsteht. Aber wie immer sich die Automatisierung und Verwissenschaftlichung der Leitungsprozesse auch entwickeln mögen, die Verantwortung der Leiter wird bleiben. Mehr noch, viele Entscheidungen werden in der Zukunft sicherlich immer gewichtiger – und das werden dann auch die Fehler!

Neue Verfahren – neue Produkte

Wo endet das Periodensystem der Elemente?

Der materielle Rahmen, in dem sich die Arbeit aller Naturwissenschaftler und Techniker, insbesondere aber der Chemiker und Physiker vollzieht, wird durch das Periodensystem der Elemente abgesteckt. Bis Anfang der 30er Jahre unseres Jahrhunderts verzeichnete man im Periodensystem 88 Grundstoffe. Mit Ausnahme der Positionen 43 (Technetium), 61 (Promethium), 85 (Astat) und 87 (Frankium) waren 92 Plätze besetzt. Das Element mit der Ordnungszahl 92 ist das Uran. Nach theoretischen Überlegungen konnte aber vermutet werden, daß auf der Erde ursprünglich auch Elemente mit Ordnungszahlen bis 106 (entsprechend Massenzahlen bis etwa 270) entstanden sein mußten. Diese Transurane haben jedoch im Vergleich zum Erdalter nur eine sehr kurze Lebensdauer. Deshalb war anzunehmen, daß sie inzwischen zerfallen sind. Das Plutonium-244 ist mit 82,2 Mill. Jahren Halbwertszeit das langlebige Element dieser Gruppe. Wenn überhaupt, dann sollte am ehesten die Suche nach diesem Element sinnvoll sein. Tatsächlich konnten 1971 aus dem kalifornischen Mineral Bastnasit 10 bis 20 Millionen Atome Plutonium-244 isoliert und mit Hilfe der Massenspektrometrie sicher identifiziert werden. Damit hat das Uran den in sämtlichen Lehrbüchern verbreiteten Ruhm als das schwerste aller natürlich vorkommenden Elemente eingebüßt.

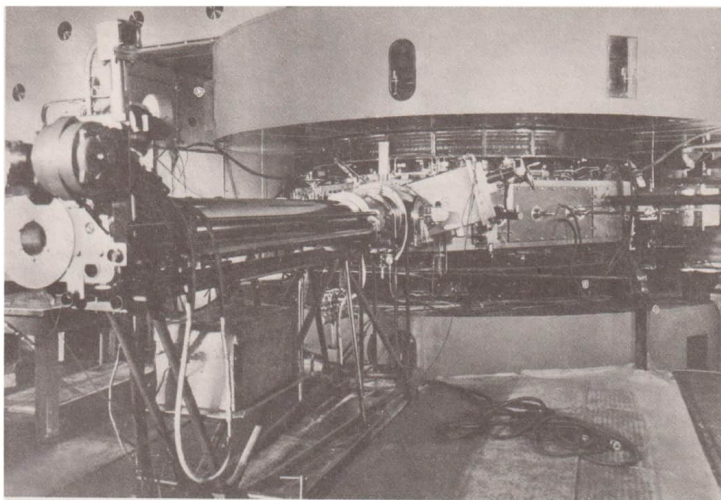
Vor 40 Jahren begann oberhalb des Urans

für die Chemiker und Physiker ein regelrechtes »Niemandland«, von dem nur gesagt werden konnte, daß die in diesem Bereich zu erwartenden Elemente radioaktiv und im Vergleich zum Erdalter relativ kurzlebig sein würden. Die Herstellung des ersten Transuranelements (Neptunium) im Jahre 1940 erregte deshalb ebenso wie drei Jahre vorher die Entdeckung des ersten künstlichen Elements überhaupt (Technetium) berechtigtes Aufsehen. Inzwischen sind nicht nur die eingangs genannten 4 Elemente diesseits des Urans im Labor erzeugt worden, sondern darüber hinaus auch insgesamt 15 Transuranelemente mit den Ordnungszahlen 93 bis 107.

Zur Gewinnung der Transurane nimmt man das schwerste, in ausreichender Menge auf der Erde vorkommende Element (das ist das Uran-238) und versucht, die Atomkerne dieses Elementes durch Zufuhr von Neutronen weiter »aufzubauen«. Derartige Vorgänge finden in jedem Kernreaktor statt, in dem als Spaltstoff das natürliche Uranisotopenmisch¹ verwendet wird, das im wesentlichen aus Uran-238 mit 0,7 bis 3% Uran-235 besteht. Aus dem Uran-238 entsteht dabei das nächsthöhere Element durch Aufnahme eines Neutrons und darauffolgende Abgabe eines Elektrons entsprechend dem auf Seite 83 dargestellten Schema. Analog kann man bis zur Ordnungszahl 100 bzw. zur relativen Atommasse 257 (ein langlebiges Fermiumisotop) hinaufklettern. Oberhalb der Ordnungszahl 100 bricht die Treppe unvermittelt ab, weil das als nächstes gebildete Fermiumisotop Fm-258 mit größerer Geschwindigkeit zerfällt, als es weiter aufgebaut werden kann.

Prinzipiell in der gleichen Weise entstehen Transurane auch bei thermonuklearen Explosionen. Diese Entdeckung ist einem Zufall zu verdanken. Bekanntlich wurde im November 1952 von den Amerikanern auf dem Bikini-Atoll im Südpazifik die erste Wasserstoffbombe gezündet. Nach der Explosion schickte man ferngesteuerte Flugzeuge durch den »Atompilz«, um Proben von dem radioaktiven Staub zu sammeln. Bei der Analyse dieses Materials fand man völlig unerwartet die

1 Isotope: Atomarten (Nuklide), deren Kerne gleichviele Protonen, aber unterschiedlich viele Neutronen und damit verschiedene Masse haben.



In dieser Maschine entstanden die Elemente 102 bis 107. Das Zyklotron U 300 des »Vereinigten Institutes für Kernforschung« in Dubna ist einer der weltgrößten Schwerionenbeschleuniger. Im Tandembetrieb mit einem zweiten Gerät entsteht eine Ionenschleuder, mit der man Xenonionen bis auf eine Energie von 825 MeV beschleunigen kann.

Elemente 99 und 100, die später auch aus dem in der Nähe der Explosionsstelle gesammelten Korallengestein isoliert werden konnten. Inzwischen sind auf der Erde zahlreiche unterirdische Kernexplosionen durchgeführt worden, so daß aus den Gesteinen der Explosionszonen wägbare Mengen verschiedener Atomarten (Nuklide) bis hinauf zum Fermium-257 gewonnen werden konnten. Bei dem als »Hutch-Test« in die Literatur eingegangenen Kernwaffenversuch der Amerikaner im Juli 1969, 600 m unter der Wüste Nevada (Sprengkraft 200 kt Trinitrotoluol), entstanden unter anderem 40 mg Curium-250 und 0,25 mg Fermium-257, die auf etwa 150 000 t Gestein verteilt waren und sich deshalb nur zum kleinsten Teil isolieren lie-

ßen. Trotzdem wurden mit einer separierten Menge von $5 \cdot 10^{12}$ Atomen Curium-250 und 10^{10} Atomen Fermium-257 mehr von diesen Elementen gewonnen, als bis dahin insgesamt isoliert werden konnten. Curium-250, das wegen seiner hohen Neutronenzahl ein wertvolles Ausgangsprodukt für den Aufbau noch schwererer Elemente ist, kann auf andere Weise als durch Kernexplosionen überhaupt nicht in nennenswerten Mengen erzeugt werden.

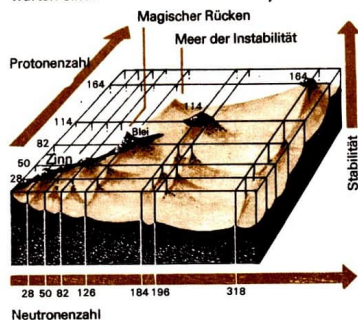
Thermonukleare Explosionen liefern auch wägbare Mengen des technisch und medizinisch sehr zukunftsreichen Kalifornium-252. Deshalb wird die Möglichkeit erörtert, durch spezielle unterirdische Kernexplosionen bis zu 10 g davon zu gewinnen. Aber leider kostet ein Atomsprensatz mit einer Explosivkraft von 20 kt Trinitrotoluol – diese Stärke hatte z. B. die auf Hiroshima abgeworfene Atombombe – nach Angaben der amerikanischen Atomenergiebehörde 380 000 Dollar. Entsprechend katastrophal erscheint der für das Kalifornium-252 angegebene Preis, der Ende 1970 in den USA von einer Milliarde auf die

immer noch gigantisch anmutende Summe von 10 Mill. Dollar pro Gramm herabgesetzt wurde. Wenn man die Kernexplosion gleichzeitig für andere nützliche Zwecke ausnutzen könnte, etwa um einen Gasspeicherraum zu schaffen oder um eine Erz-lagerstätte zu erschließen, so wäre eine Preisreduzierung auf schätzungsweise 1 bis 2 Mill. Dollar möglich.

Anfang der 70er Jahre wurde der »Welt-vorrat« an Transuranen mit Ordnungszahlen bis 100 von westlicher Seite auf 25 bis 30 t Reaktorplutonium sowie mehrere Kilogramm Plutonium-238, Neptunium-237, Ameri-zium-243 und Curium-244 geschätzt. Die Kalifornium-252-Menge betrug etwa 1 g. Vom Berkelium-249 und Kalifornium-249 waren 1 bis 10 mg vorhanden, vom Einstei-nium-253 weniger als 1 mg und vom Fer-mium-257 ungefähr 10^8 Atome.

Fermium-257 ist heute der schwerste Atom-kern, den man über Neutroneneinfangreaktio-nen mittels Kernreaktoren und Kernexplosio-nen in wägbaren Mengen gewinnen kann. Alle Elemente mit Ordnungszahlen über 100 und mit Massenzahlen über 257 lassen sich – wenn auch niemals in wägbaren Mengen –

Stabilitätsinseln der chemischen Elemente im »Ozean der Instabilität« nach Seaborg. Man sieht, daß stabile Atomkerne (mit einer kompletten Pro-tonen- und Neutronenbesetzung) u. a. auch bei den Elementen 114 (Eka-Blei, relative Atommasse 298) und 164 (Dwi-Blei, relative Atommasse 482) zu er-warten sind.

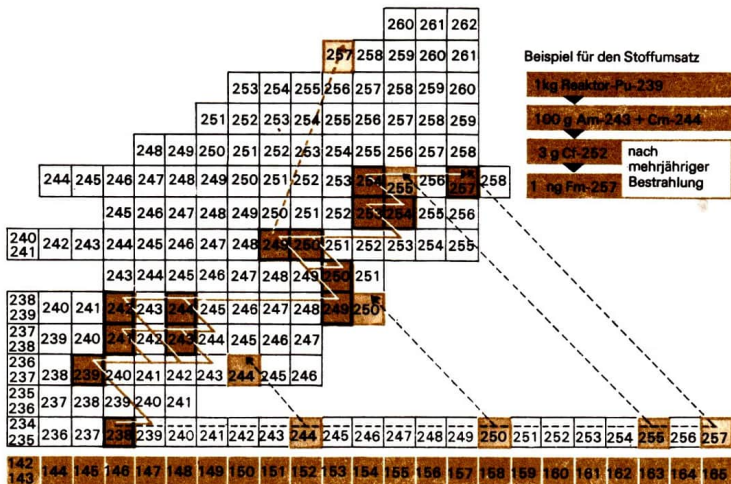


105	Nielsbohrium	Ns	1970
104	Kurtschatovium	Ku	1964
103	Lawrentium	Lr	1959
102	Nobelium	No	1958
101	Mendelevium	Md	1955
100	Fermium	Fm	1952
99	Einsteinium	Es	1952
98	Kalifornium	Cf	1950
97	Berkelium	Bk	1949
96	Curium	Cm	1944
95	Amerizium	Am	1944
94	Plutonium	Pu	1940
93	Neptunium	Np	1940
92	Uran	U	1789

Neutronenzahl

Möglichkeiten für den Aufbau von Transuranele-menten in Kernreaktoren, bei thermonuklearen Explosionen und in Schwerionenreaktoren nach Keller 1972.

nur mit Hilfe von Beschleunigern herstellen. Dazu werden schwere Atomkerne (so-genannte Targets) mit schweren Ionen be-schossen, also mit kompakten Kernen. Target-kern und Geschosß verschmelzen unter Neu-tronenemission zu Elementen, deren Ord-nungszahl sich additiv aus den Komponenten ergibt. Auf diese Weise entstehen Kerne mit einem Neutronenunterschuß und demzufolge mit geringer Stabilität. Sie sind also sehr kurz-lebig. Auch die Ausbeuten im Schwerionen-reaktor sind mehr als bescheiden. So erhielten z. B. die sowjetischen Forscher im Vereinigten Kernforschungsinstitut der RGW-Länder in Dubna bei der Erstentdeckung der Elemente 104 (1964), 105 (1970), 106 (1974) und 107 (1976) nur wenige Atome in mehreren Stun-den bzw. pro Tag. Durch Kombination neu-tronenreicher Targets und Geschosse gelang es, von allen bisher synthetisierten künst-lichen Elementen oberhalb der Ordnungs-



zahl 100 (bei vorläufiger Ausnahme des zuletzt entdeckten) Isotope mit Halbwertszeiten von über einer Minute herzustellen. Eine solche Mindestlebensdauer ist übrigens auch die Voraussetzung, um die chemischen Eigenschaften des Elementes sicher bestimmen zu können.

Zur Gewinnung der superschweren Transurane wird der Beschuss von Uran mit Xenon-, Gadolinium-, Samarium-, Hafnium- oder Uranionen für besonders aussichtsreich gehalten. Dabei entstehen extrem schwere Zwischenkerne, deren Zerfall zum gewünschten Element führt. Das Studium derartiger Reaktionen ist erst seit 1971/72 möglich, weil die Leistungen der Schwerionenbeschleuniger bis dahin zu niedrig waren. In Dubna hat man 1971 mit zwei gekoppelten Beschleunigern 28fach positiv geladene Xenonionen schon bis auf 925 MeV beschleunigt. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, um das Element 114 (Ekalei) über die Spaltung eines Zwischenkerns mit der Ordnungszahl 146 herzustellen. Die Realisierung der U+U-Reaktionen dürfte dagegen noch in etwas weiterer Ferne liegen, denn dazu

müßten die Uranionen auf 1700 MeV (das entspräche etwa einem Zwölftel der Lichtgeschwindigkeit) beschleunigt werden. Trotzdem ist damit zu rechnen, daß das Periodensystem in den 80er Jahren und erst recht bis zur Jahrtausendwende noch um ein gutes Stück wachsen wird.

In den stabilen Atomkernen stehen die Kernbausteine, also die positiv geladenen Protonen und die neutralen Neutronen, in einem bestimmten ausgewogenen Verhältnis zueinander. Je stärker sich diese Proportionen verschieben, um so instabiler wird das Gebilde. Mit umfangreichen Rechenarbeiten verbundene theoretische Überlegungen versetzen uns heute in die Lage, die Beständigkeit der superschweren Elemente sowie deren chemische und physikalische Eigenschaften innerhalb gewisser Wahrscheinlichkeitsgrenzen vorzuberechnen. Dabei konnte man Gebiete mit einer unerwartet hohen Stabilität im Bereich der Ordnungszahlen 114 und 164 ausweisen. Auf diesen Stabilitätsinseln werden Atomarten mit Halbwertszeiten bis zu 10^8 Jahren erwartet. Für die Eigenschaften der Elemente mit 112 bis 118 Elektronen wird eine

Analogie zu den Elementen der Reihe Quecksilber bis Radon vorausgesagt. Die obere Stabilitätsgrenze soll sich nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand etwa bei einer Ordnungszahl von 174 befinden. Da aber nicht alle Effekte rechnerisch sicher zu erfassen sind, kann diese Grenze möglicherweise sogar noch etwas höher liegen. Die Leistungsgrenze spezieller Varianten der Schwerionemethode, die für die Synthese derartiger Elemente auf weite Sicht allein in Frage kommt, wird jedenfalls erst etwa beim Element 200 (entsprechend einer Massenzahl um 500!) erreicht werden.

Natürlich beansprucht die Erforschung der Grenzbezirke unserer materiellen Welt in erster Linie theoretisches Interesse. Aber sie hat auch ihre praktischen Aspekte, weil die zukünftige Anwendung der Transuranisotope durch diese Arbeiten einen starken Auftrieb erfahren wird.

Tausend Worte Isotopenchemie

Noch im Jahre 1960 war die Anwendung von Isotopen im wesentlichen eine Angelegenheit der Spezialisten. Heute gehört sie zum routinemäßigen Arbeitsrepertoire zahlreicher Forschungs- und Industriebetriebe. 1955 erhielt die DDR ihre ersten radioaktiven Präparate aus der Sowjetunion. Seit dieser Zeit hat sie aus dem Einsatz isotopechnischer Methoden einen Nutzen von über 1 Mrd. Mark gezogen.

In den führenden Industrieländern werden jährlich einige tausend (allein in der UdSSR etwa 4000) neue kerntechnische Geräte installiert. Sie dienen besonders zur Ermittlung aller möglichen Materialparameter (wie Dichte, Feuchte, chemische Zusammensetzung). Aber ihr Einsatz eröffnet auch neue Möglichkeiten des Messens, Steuerns und Regels von chemischen Reaktionen bei extremen Drücken und Temperaturen.

Mit Hilfe radioaktiver oder stabiler Isotope läßt sich der Weg eines chemischen Stoffes bei physikalischen, technischen, biologischen oder chemischen Prozessen verfolgen. Dazu dienen sogenannte »Tracer«, Stoffe, die durch den Einbau stabiler oder aktiver Isotope markiert worden sind und so dem Beobachter

ihre Anwesenheit verraten. Mit Hilfe geeigneter Tracer können die Reaktionsmechanismen bei der Umwandlung chemischer Substanzen selbst unter den kompliziertesten Bedingungen (z.B. im Hochofen oder im Ammoniakreaktor) untersucht werden. Es gelang auch, markierte Verbindungen mit Erfolg bei Stoffwechseluntersuchungen an Pflanzen, Tieren und Menschen einzusetzen. So wird die biologische Fixierung des Luftstickstoffs durch die Schmetterlingsblütler, zu denen so bekannte Pflanzen wie Erbse, Bohne, Lupine, Klee und Robinie gehören, mit Hilfe von stabilem Stickstoff-15 untersucht, und das Sauerstoffisotop 18 hilft, die Atmungsprozesse bei Tier und Pflanze aufzuklären. In der Medizin werden strahlende Atome (z.B. das Jodisotop 125) mit Hilfe besonders präparierter Arzneimittel in den Körper gebracht, der sie mehr oder weniger stark in verschiedenen Organen speichert. Durch Messung der Strahlung kann man sie lokalisieren und Rückschlüsse über den Gesundheitszustand des Patienten ableiten.

Um das Verschleißverhalten neuentwickelter Motoren bei laufendem Betrieb untersuchen zu können, setzt man isotopenmarkiertes Schmieröl ein. Aus dem Isotopengehalt des metallischen Abriebs, der Auspuffgase und des verbrauchten Öls lassen sich wichtige Rückschlüsse auf das Betriebs-

Tabelle 6. Einsatzmöglichkeiten für Traceruntersuchungen zur Lösung häufig auftretender Probleme an Chemieanlagen

Anlagenteile	Probleme	Experimente
Behälter Reaktoren	Entwicklung und Rationalisierung	Verweilzeitmessung Homogenitätsmessung Betriebsinhalte
Trenn- apparate Wärme- übertrager Mischer	Überwachung und Betriebsführung	Lecksuche Korrosionsmessung Verschleißmessung Ablagerungen
Pumpen Rohr- leitungen	Regelung und Steuerung	Durchflußmengen- messung Füllstandsmessung Verlustbestimmung

verhalten des Motors ziehen. Markierte Gase werden zur Bestimmung von Molekülparametern, zur Bearbeitung von Korrosionsproblemen und für viele andere Zwecke benutzt.

Äußerst erfolgreich war die Isotopenanwendung in der chemischen Analytik. Heute prägen stationäre und transportable Röntgenfluoreszenzanalysatoren mit Isotopenquellen zur Aktivierung der Probestanzen das Niveau der kerntechnischen Stoffanalyse. Zahlreiche mittelschwere Metalle vom Kalzium bis zum Zinn sind nach diesem Verfahren mit Nachweisgrenzen zwischen 10^{-3} bis 10^{-1} % in kürzerer Zeit (0,5 bis 10 min) als bei konventionellen chemischen Methoden vergleichbarer Genauigkeit zu bestimmen. In Einzelfällen lassen sich weniger als 10^{-12} g eines Elementes unabhängig von der chemischen Bindung zerstörungsfrei nachweisen. Zu den besten Strahlenquellen für diese Zwecke gehören Amerizium-241 und Kalifornium-252. Mit ihnen kann die Analyse im tiefsten Bohrloch ebenso sicher durchgeführt werden wie auf der Mondoberfläche. Auch die Aktivierung mit Neutronengeneratoren ist möglich. Das Verfahren gewinnt durch die Entwicklung leicht austauschbarer Beschleunigersysteme für die kontinuierliche Produktionskontrolle in der chemischen und metallurgischen Industrie ständig an Bedeutung.

Radionuklide beanspruchen darüber hinaus als Energiequellen Interesse. Für therapeutische Zwecke sind die Betastrahler zur lokalen Bekämpfung bösartiger Geschwülste wichtig geworden. Das Einführen radioaktiven Materials in Körperhöhlen, das Auflegen auf Hautoberflächen und das »Spicken« von Tumoren mit Körnchen oder Nadeln radioaktiver Stoffe sind weit entwickelt. Die Auslösung von Mutationen durch Radionuklide wird bei verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen zur Verbesserung ihrer Eigenschaften angestrebt.

Von den Transuranen sind vor allem Kalifornium-252 und Amerizium-241 eine nützliche Ergänzung der bisherigen Strahlenquellen. Das Kalifornium-252 wird zunehmend als intensive, wenn auch vorläufig noch sehr teure Neutronenquelle angewandt, wobei in den meisten Fällen schon Milligramm-Mengen genügen. Eine solche Ministrahlenquelle könnte man als Mikroreaktor zur Erzeugung

von kurzlebigen Radionukliden (z. B. Jod-128 oder Chlor-38) einsetzen. Mit derartigen Nukliden ließe sich in der Medizin die Strahlenbelastung des Organismus erheblich verringern, denn das für Schilddrüsenuntersuchungen heute verwendete Jod-131 hat eine Halbwertszeit von acht Tagen, Jod-128 aber nur von fünfundzwanzig Minuten. Es leuchtet ein, daß unter diesen Umständen zumindest jedes größere Krankenhaus seinen eigenen Reaktor brauchen würde, und gerade das wäre mit Kalifornium-252 vielleicht eines Tages möglich, zumal es in den 80er Jahren schon im Kilogramm-Maßstab produziert werden soll.

Für Isotopenbatterien sind alphastrahlende Nuklide wie Plutonium-238, Curium-244, Amerizium-241 oder Aktinium-227 besonders geeignet, weil die Strahlenbelastung der Umgebung niedrig bleibt. Am wichtigsten ist heute das Plutonium-238, von dem Anfang der 80er Jahre 100-kg-Mengen erwartet werden. Die Leistungsabnahme einer für »irdische« Zwecke oft noch bevorzugten Strontiumbatterie beträgt nach fünf Jahren zirka 11%, bei einer Plutoniumbatterie aber nur 5%. Deshalb eignen sich derartige »Kernkraftwerke im Westentaschenformat« für die Energieversorgung von Forschungsgeräten in unzugänglichen Gebieten unserer Erde ebenso wie für die Weltraumforschung. Sie werden zunehmend die wirtschaftliche Nutzung von Kernenergie für kleine und kleinste Leistungen vom Kilowatt- bis zum Milliwattbereich ermöglichen. Dazu gehört auch der Antrieb von Herzschrittmachern zur Stabilisierung eines unregelmäßigen Herzschlags. Im April 1970 wurde in Paris einer 58jährigen Patientin der erste »atomgetriebene« Schrittmacher eingesetzt. Für solche Geräte werden Leistungen von 200 bis 300 μ W benötigt. Dazu genügen 150 bis 200 mg Plutonium-238, womit eine Betriebsdauer von mindestens zehn Jahren garantiert werden kann. Die bisher gebräuchlichen elektrochemischen Herzschrittmacher mit Quecksilberoxidbatterien müssen demgegenüber aller vier Jahre ausgewechselt werden. Allerdings soll bald schon eine leistungsfähigere elektrochemische Energiequelle, die sogenannte Lithiumzelle, mit einer Lebensdauer von etwa acht Jahren zur Verfügung stehen. In der DDR lebten 1975 bereits

4800 Menschen mit Herzschrittmachern. Die westlichen Industriestaaten rechnen Ende der 70er Jahre mit insgesamt 30 000 bis 40 000 Implantationen pro Jahr.

Übrigens ist Plutonium-238 auch für den direkten Antrieb von künstlichen Herzen geeignet. Ein Versuchstier lebte mit einer solchen Blutpumpe mehr als zwei Jahre.

Das Anwendungsfeld der Radionuklidbatterie wird sich in der Zukunft stark erweitern und bei einer mit Sicherheit zu erwartenden Kostensenkung auch auf Dinge des täglichen Bedarfs ausdehnen. Als Beispiel dieser Art mag die elektronische Armbanduhr angeführt werden, die durch promethium-147-haltige Leuchtziffern mit einem weiteren attraktiven Isotopendetail ausgestattet werden kann.

Das ursprünglich nur zum Bau von Atombomben eingesetzte Plutonium-239 ist ein ausgezeichneter Kernbrennstoff für Schnelle Brüter. Plutonium-241 verwendet man zur Herstellung taktischer (also relativ kleinkalibriger) Atomwaffen, die dadurch zwar keineswegs harmloser werden, deren Anhäufung und potentieller Mißbrauch durch imperialistische Kreise die friedliebende Welt aber zu besonderer Aufmerksamkeit herausfordert!

Für den Betrieb kleiner Kernreaktoren, wie man sie z. B. in der Raumfahrt benötigt, könnten die Transurane Amerizium-242, Curium-245 und Kalifornium-251 Bedeutung gewinnen. Ob und in welchem Maße zukünftig auch die heute noch nicht zugänglichen super-schweren Elemente eine praktische Anwendung finden, ist noch nicht abzusehen.

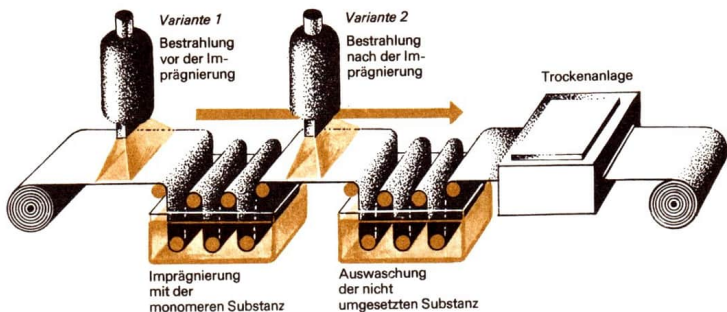
Strahlenchemie – Möglichkeiten und Perspektiven

Zu einem hoffnungsvollen Spezialgebiet hat sich in den letzten 20 Jahren die Anwendung radioaktiver Strahlung zum Auslösen von chemischen Reaktionen entwickelt. Nach einer relativ kurzen Periode der Grundlagenforschung begann man (abgesehen von der schon vorher praktizierten strahlenchemischen Polyäthylenveredlung) in den 60er Jahren mit den ersten Anwendungen. Heute werden im Weltmaßstab schon etwa 40 strahlenchemische Verfahren industriell

betrieben, die in der Mehrzahl allerdings erst wenige Jahre alt sind, denn Strahlenprozesse setzen sich in der großtechnischen Praxis verhältnismäßig zögernd durch, weil die Energiequellen noch ziemlich teuer sind.

Bei der Auslösung von chemischen Reaktionen mit ionisierenden Strahlen werden zunächst hochreaktive Primärprodukte gebildet, die aber gerade, weil sie so hochreaktiv sind, nicht nur in der gewünschten Richtung, sondern auf alle mögliche Art und Weise weiterreagieren. Die Strahlung wirkt also ganz und gar unspezifisch. Sie greift primär jedes beliebige Molekül an, und deshalb erzeugt sie über zahlreiche Zwischenreaktionen leider meist viele verschiedene Endprodukte nebeneinander. Andererseits können strahlenchemische Prozesse bei niedrigen Temperaturen und Drücken sowie ohne Katalysatoren und unabhängig vom Aggregatzustand durchgeführt werden. Das hohe Durchdringungsvermögen energiereicher Gammastrahlen bietet elegante Möglichkeiten zur Durchführung von chemischen Reaktionen mit und in festen Körpern. Daraus könnte sich eine Reihe von perspektivreichen Anwendungen ableiten. Die Energie der Gamma- und Betastrahlen übertrifft die Bindungsenergie der Moleküle um das 100 000fache, aber nur ein geringer Teil wird effektiv zur Spaltung oder Herstellung molekularer Bindungen genutzt. Aus diesem Grunde ist die Strahlenchemie von boshaften Kritikern gelegentlich mit einem Dampfhammer verglichen worden, der zum Antrieb eines Uhrwerks eingesetzt wird. Die Erfindung einer Anlage zum »Umformen« der Energie würde deshalb einen spektakulären Wendepunkt in der Strahlenchemie bedeuten. Aber auch ohne eine solche Wunschmaschine sind die vorliegenden Beispiele für eine technische Nutzung strahlenchemischer Prozesse sehr vielversprechend.

Läßt man z. B. auf 1 g Polyäthylen 420 Joule (100 cal) Wärmeenergie einwirken, so passiert chemisch gar nichts. Wird aber dieselbe Energiemenge als energiereiche Strahlung zugeführt, dann kommt es zur Vernetzung des Polyäthylens. Das Material wird hart, spröde und wärmebeständiger. Die strahlenchemische Modifizierung von Polymeren (besonders von Polyäthylen und Polyvinylchlor-



Schema einer Anlage zur strahlenchemischen Polymerisation monomere Substanzen in textilen Flächengebilden.

rid) führte in einigen Ländern bereits zur industriellen Großproduktion. Durch den Einsatz von strahlungsvernetztem Polyäthylen anstelle des teuren Teflons zur Isolierung von Hochfrequenzkabeln konnten in der UdSSR etwa 200 Rubel je Kabelkilometer eingespart werden. Polyäthylenvernetzungen sollen gegenwärtig rund 90% aller strahlenchemischen Anwendungen ausmachen.

Durch eine Gammastrahlenbehandlung von gewöhnlichem Beton, der vorher mit einem Monomer getränkt wurde, erhält man den sogenannten Polymerbeton. Im Vergleich zum gewöhnlichen Beton besitzt er die vierfache Druck- und Zugfestigkeit. Er ist wasserundurchlässig und außerordentlich beständig gegenüber Gefrieren, Auftauen und Korrosion.

Zur Herstellung hervorragender Holzkombinationswerkstoffe werden die Poren des Holzes zunächst mit flüssigen Monomeren gefüllt. Danach wird strahlenchemisch (oder auch thermochemisch) ausgehärtet. Das entstandene Polymerholz fault beinahe ebensowenig wie Plast. Es ist wasserbeständig und hat ein schönes Aussehen. Billige Massenholzarten lassen sich auf diese Weise den teuersten Edelhölzern angleichen. Im industriellen Maßstab werden Sportgeräte, Schiffsplanken, Parkett und dekorative Holztäfelungen aus Polymerholz hergestellt. Zur

Zeit dürfte jedoch die Weltproduktion insgesamt nur wenig über 1000 t liegen.

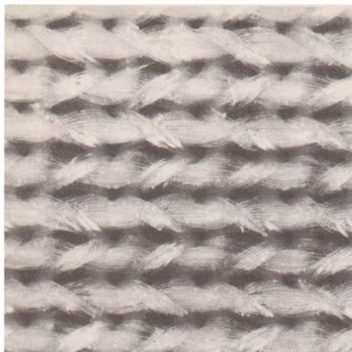
Auch die strahlenchemische Lackhärtung auf Holz- und Metalloberflächen besitzt eine große Perspektive.

Als eine wirksame Methode zur Erhöhung der Wärmeverschleißfestigkeit von Gummi hat sich die schwefelfreie Strahlungsvulkanisation erwiesen. Der so erzeugte Gummi hält über 300°C aus. Es ist klar, daß die Lebensdauer von Autoreifen aus diesem Material sehr hoch sein muß.

Durch die Bestrahlung von Katalysatoren werden aktive Zentren regeneriert, woraus eine längere Lebensdauer des Kontaktes und eine höhere Aktivität resultieren. Strahlenchemische Verfahren zur Synthese spezieller organischer Säuren (z.B. der Chloressigsäuren) befinden sich in der industriellen Erprobung.

In der landwirtschaftlichen Forschung wird mit ionisierenden Strahlen u.a. versucht, bei Kartoffeln und Zwiebeln den Keimwuchs zu hemmen, die Reife von Süßfrüchten zu verzögern sowie Nahrungsmittel zu sterilisieren und ihre Haltbarkeit zu verlängern. Mit Gammastrahlen behandelte Tierhäute werden dehnungsfester, außerdem weitet sich die Haut noch etwas aus. Dadurch halten Ledersohlen nicht nur um 50% länger, sondern obendrein würde der Flächengewinn von 3% allein in der UdSSR die Mehrproduktion von 20 Mill. Paar Schuhen bei gleichem Tierbestand ermöglichen!

Neben den spezifischen Wirkungen, die sich



Strahlenchemisch veredeltes Gewirk aus Polyamidseide im Vergleich zu unbehandeltem Material nach vergleichbarer Beanspruchung in einem Scheuerversuch. Das bestrahlte Material (oben) ist wesentlich haltbarer.

mit energiereichen Strahlen erzielen lassen, beruhen die Zukunftsaussichten der Strahlenchemie vor allem auf den günstigen Perspektiven für die Bereitstellung billiger Energie. Aus dem Abbrand von Kernkraftwerken kann man langlebige Beta- und Gammastrahler isolieren. Während Kobalt-60 schon

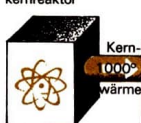
seit Jahren gewonnen wird, läßt man die Isotope des Strontiums und Zäsiums in verpackelter Form meist an einem sicheren Ort abklingen. Dadurch gehen heute noch große Mengen an Strahlenenergie verloren. 1980 sollen im Weltmaßstab etwa 300 Megacurie Zäsium und 250 Megacurie Strontium zur Verfügung stehen. Man rechnet damit, daß zu diesem Zeitpunkt etwa 40 bis 50 Megacurie Kobalt-60 oder das entsprechende Zäsiumäquivalent industriell genutzt werden. Außerdem eignen sich als strahlenchemische Energiequellen auch die ausgebrannten Brennelemente von Kernreaktoren. Ein Transport dieser Elemente ist allerdings unökonomisch, so daß die strahlenchemische Anlage mit der Reaktorstation gekoppelt werden müßte.

Sehr günstig wird der künftige Einsatz von Elektronenbeschleunigern beurteilt. Die Geräte erzeugen einen bleistiftstarken Elektronenstrahl, der im Bedarfsfall magnetisch bis auf 2m Breite aufgefächert werden kann. Gegenwärtig sollen auf der Erde etwa 120 Beschleuniger für strahlenchemische Prozesse in Betrieb sein.

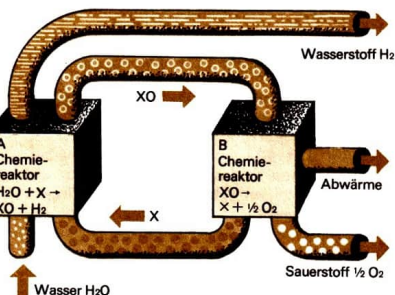
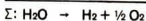
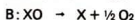
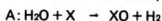
Schon seit längerer Zeit wird erwogen, zur Durchführung strahlenchemischer Synthesen spezielle Kernreaktoren zu errichten. Als potentielle Anwendungsmöglichkeiten solcher »Chemiereaktoren« werden am häufigsten die strahlenchemische Synthese von NO_2 (und damit von Salpetersäure) aus der Luft, die Gewinnung von Hydrazin aus Ammoniak, von Äthylenglykol aus Methanol und von Phenol aus Benzol diskutiert. Die Möglichkeiten und Grenzen derartiger Anlagen ergeben sich daraus, daß etwa 85% der frei werdenden Kernspaltungsenergie in den positiv geladenen Kernbruchstücken (Alphastrahlen) konzentriert sind. Der Rest geht in die kinetische Energie der Neutronen sowie in die Beta- und Gamma-Strahlungen. In gewisser Hinsicht am einfachsten wäre es, nur die Energie der Neutronen und der Gammastrahlen zu nutzen, deren viel größeres Durchdringungsvermögen sozusagen einen Beschuß aus der Ferne erlaubt. Die Konstruktion dafür geeigneter Chemiereaktoren lehnt sich an diejenige von Normalreaktoren an und ist daher nicht besonders schwierig. Leider besteht die Gefahr, daß bei solchen Reaktionen auch die Atome

Möglichkeit zur chemischen Nutzung von Kernwärme. Im Chemiereaktor A wird mit Hilfe der Reaktionsmittler X (z. B. Eisenoxid, Schwefeldioxid und Eisensulfat) unter dem Einfluß von Kernwärme Wasser thermochemisch zu Wasserstoff reduziert. Im Chemiereaktor B werden die oxydierten Reaktionsmittler regeneriert. Wasserstoff wird als universell verwendbarer Rohstoff und Sekundärenergieträger abgetrennt.

Hochtemperaturkernreaktor



thermochemischer Kreisprozeß



der reagierenden Verbindung radioaktiv werden. Vielleicht könnte dieses Problem mit Apparaten nach Art der in der Sowjetunion entwickelten »Strahlungsschleifen« gelöst werden. Hier zirkulieren in einem Rohrleitungssystem bei Raumtemperatur flüssige Indium-Gallium-Verbindungen, die in der aktiven Zone des Reaktors durch Neutronenbeschuß in radioaktive Isotope der entsprechenden Metalle übergehen. Diese Isotope zerfallen unter Aussendung energiereicher Strahlen, die wiederum in der außerhalb des Reaktors liegenden Synthesezone die chemischen Reaktionen auslösen. Auf diese Weise vermeidet man, daß die Reaktionspartner unmittelbar der Neutronenstrahlung ausgesetzt sind, wodurch z. B. die Folie oder der Autoreifen selbst stark radioaktiv werden würde. Wenn man in einem Kernkraftwerk mit einer Durchschnittsleistung von 1 GW mit dieser Methode nur 0,05% der Strahlung verwerten würde, so erhielte man eine Energiequelle in der Größenordnung aller heute auf der Welt genutzten Isotopenanlagen!

Sehr naheliegend erscheint der Gedanke, auch die in den Kernreaktoren frei werdende kinetische Energie der positiven Spaltprodukte (Alphastrahlen-Heliumkerne) an Ort und Stelle für chemische Reaktionen zu nutzen.

Dazu muß man sie in engen Kontakt mit den Reaktionspartnern bringen, denn ihre Reichweite ist minimal. Dies läßt sich dadurch erreichen, daß die Spaltprodukte staubförmig im gasförmigen oder flüssigen Reaktionsmedium verteilt werden, wobei aber die Aktivierung des Endprodukts noch viele Probleme aufwirft. Attraktiv wirkt der Vorschlag, feinste spaltstoffhaltige Glasfasergewebe (mit etwa 1 µm Faserdurchmesser) zu verwenden, die vom Synthesegas durchströmt werden. Bis zur großtechnischen Realisierung derartiger oder ähnlicher Projekte bedarf es aber noch erheblicher Anstrengungen. Sowjetische Wissenschaftler vertreten trotzdem die Auffassung, daß die Kernkraftwerke der Zukunft zugleich auch Chemiebetriebe sein werden. Es wird als möglich angesehen, die spezifischen Kosten der strahlenchemischen Produktion in solchen Kombinationen bis auf ein Fünftel oder ein Sechstel der Werte bei separater Erzeugung zu senken.

Solange die Preise für Strahlungsquellen noch hoch sind, haben Verfahren, die mit niedrigen Strahlendosen auskommen (z. B. Kettenreaktionen wie Äthylchloridherstellung, Sulfochlorierung, Polymerisationen und Vernetzungen), die besten technischen Entwicklungsaussichten. Andere Reaktionen sind wahrscheinlich erst dann ökonomisch zu ge-

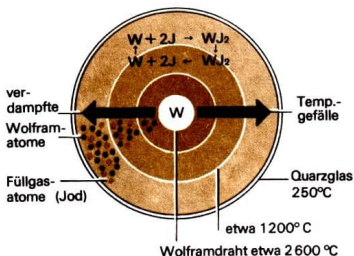
stalten, wenn chemischer Prozeß und Energiegewinnung im Kernreaktor miteinander gekoppelt werden können.

Dank intensiver Bemühungen geht heute auch die

Fotochemie auf neuen Wegen

Chemische Wirkungen des Lichts im Spektralbereich zwischen 200 und 800nm, also vom Ultraviolett bis zum kurzwelligem Infrarot, sind schon seit 100 Jahren bekannt. Trotzdem beginnt man in das Wesen dieser Prozesse erst seit einigen Jahren tiefer einzudringen. Das gilt auch für die Fotografie, die von Anfang an als eine Lösung für die Praxis gesucht und gefunden wurde. Trotzdem oder gerade deswegen stellt unser gebräuchliches fotografisches Verfahren heute beinahe schon eine Ideallösung dar. Stürmische Entwicklungen sind deshalb in der nächsten Zeit wohl kaum noch zu erwarten. Die weiteren Arbeiten können nur das Ziel haben, das System Silberhalogenid/Gelatine durch eine zähe Kleinarbeit bis an seine theoretische Leistungsgrenze heranzuführen. Dabei ist die Empfindlichkeit das entscheidende Kettenglied. Sie kann nur erhöht werden um den Preis einer Kornvergrößerung, die sich jedoch bekanntlich in einer geringeren Schärfe niederschlägt. Aber dieser Weg erwies sich dennoch als gangbar, denn es gelang, die absinkende Schärfe durch verschiedene andere Maßnahmen zu kompensieren. Auf diese Weise konnte z. B. bei dem bekannten Wolfener Film NP 15 im Vergleich zum früheren NP 10 die Empfindlichkeit auf das 4fache erhöht und dazu noch die Schärfe verbessert werden. Man erwartet, daß sich die Empfindlichkeit bis zur Jahrtausendende gegenüber dem Stand Anfang der 60er Jahre noch einmal um den Faktor 10 steigern läßt.

Obwohl nur die Silberhalogenidkörnchen lichtempfindlich sind, kommt auch der Gelatine große Bedeutung zu. Sie ist unter anderem für die Entstehung von Störstellen in den Halogenidkristallen verantwortlich, woraus überhaupt erst eine nutzbare irreversible Lichtempfindlichkeit resultiert. Die reproduzierbare Herstellung solcher Gelatinen aus Tierhäuten und Knochen ist sehr schwierig.



Intensiveres Licht durch chemische Kreisprozesse in Halogenlampen. Hierbei erzielt man eine erhebliche Steigerung der Lichtintensität, weil die Verdampfung des glühenden Wolframdrahts (und damit auch die allmähliche Schwärzung des Glaskolbens) sehr stark zurückgedrängt wird. Außerdem erhöht sich dadurch die Lebensdauer der Lampen, die im Vergleich zu ihrer Leistung noch gering ist.

Kunstharze auf Polyiminbasis könnten hier neue Möglichkeiten eröffnen.

Rasch arbeitende Entwickler und Fixierbäder sowie dünne gehärtete Schichten, die höhere Verarbeitungstemperaturen vertragen, sollen zukünftig auch zu einer Verkürzung der Zugriffszeit (das ist die Zeit, die von der Aufnahme bis zur Verfügbarkeit des Bildes verstreicht) führen. Ein besonders wirkungsvoller Weg wurde mit dem Polaroidverfahren gefunden, das 1947 zum ersten Mal in den USA realisiert worden ist. Dabei wird die belichtete Negativschicht direkt im Fotoapparat mit thiosulfathaltigem Entwickler angefeuchtet und 10 bis 30 s mit einer Empfangsschicht in Kontakt gebracht. Das belichtete Ag^+ diffundiert gleichzeitig mit dem Entwickler in diese Empfangsschicht hinüber, wo es katalytisch entwickelt wird. Nach dem Abziehen von der Aufnahmeschicht ist das Positiv schon so gut wie trocken. Die Polaroidkameras wurden inzwischen stark verbessert.

Das normale Silberhalogenid/Gelatine-System ist auch die Grundlage der 1936 in Wolfen geborenen Colorfotografie, die aus diesem Grunde von der Optimierung des Silberhalogenidsystems mit profitieren wird.

Seit 1958 kann man ebenfalls nach einem Wolfener Verfahren bunte Fotokopien direkt vom Diapositiv erhalten, vorher mußten dazu stets erst Negative angefertigt werden. Mit der zu erwartenden Vervollkommenung und Verbilligung wird die Colorfotografie gegenüber dem Schwarz-Weiß-Verfahren auf lange Sicht die Oberhand gewinnen.

Neben unserer althergebrachten fotografischen Methode gibt es nahezu ein Dutzend silberhalogenidfreie Bildaufzeichnungsverfahren, die dem normalen Prozeß zumindest in der Zugriffszeit fast alle überlegen sind. Bisher schneiden sie aber in wesentlichen anderen Punkten noch schlechter ab. Deshalb kann man heute mit ausreichender Sicherheit sagen, daß bis zur Jahrtausendwende weder die Xerographie¹ noch das Magnetbildverfahren², weder der Vesicularprozeß³ noch die thermoplastischen Verfahren⁴, weder Fotopolymerisation⁵ noch Diazotypie⁶, Chromotypie⁷ oder Thermographie⁸ in der Lage sein werden, die klassische Fotografie zu ersetzen. Am ehesten könnte man eine Expansion in begrenzten Spezialgebieten er-

warten, nämlich dort, wo die hohe Empfindlichkeit keine grundsätzliche Voraussetzung zur Bildspeicherung ist, z. B. in der Kontaktkopiertechnik. So gelang ein beschränkter kommerzieller Erfolg auf den Gebieten der Diazotypie, der Vesicularfotografie und der Fotopolymerisation. Letztere ist aus vielen Anwendungsgebieten, wie der Herstellung von mikroelektronischen Gegenständen und Druckplatten, ohnehin nicht mehr wegzudenken. Die Amateurfotografie aber, die gegenwärtig die Hälfte aller Fotomaterialien verbraucht, wird davon nicht betroffen werden.

Diese Aussage stützt der hohe Entwicklungsstand konventioneller fotochemischer Prozesse, deren Effektivität sich durch wachsende internationale Kooperation rasch erhöhen wird. So wurde Mitte 1973 die gemeinsame Wirtschaftsorganisation »Assofoto« zwischen der DDR (Fotochemisches Kombinat Wolfen) und der UdSSR (Unionsvereinigung Sojuschimfoto) gegründet, in der durch einheitliche Planung und Leitung sowohl in Forschung und Entwicklung als auch in Produktion und Absatz Maximalergebnisse erreicht werden sollen. Die Vereinigung »Assofoto« ist heute das größte europäische Unternehmen auf dem Gebiet der Filme, Fotopapiere und Magnetbänder.

Ein für das Leben auf unserer Erde unentbehrlicher Prozeß ist die mit Hilfe der Sonne bewirkte Fotosynthese. Nicht nur die meisten Grundnahrungsmittel entstehen auf diese Weise, auch der größte Teil der von uns verbrauchten Energie hat darin seinen Ursprung. Die fotochemische Syntheseleistung ist nicht anders als gigantisch zu bezeichnen, denn jeder Quadratmeter Blattfläche produziert stündlich etwa 1 g Zucker! Dabei wird der durchschnittliche Wirkungsgrad für die Ausnutzung der eingestrahnten Sonnenenergie auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen der Erde mit nur 0,5% angegeben! Es gibt Meinungen, wonach die verfügbare Sonnenenergie unter optimalen Bedingungen eine Fotosyntheseleistung erbringen könnte, die die Hektarerträge unserer Landwirtschaft um das Mehrfache übertrifft. Das Endziel aller Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet ist deshalb die völlige Aufklärung des Prozesses, um daraus praktikable Methoden zur Verbesserung der Fotosyntheseproduktivität ab-

1 Xerographie: Elektrofotografisches Verfahren, das auf der lichtelektrischen Leitfähigkeit von Selen, Anthrazen u. a. Halbleitern beruht.

2 Magnetbildverfahren: Elektromagnetisches Aufzeichnungsverfahren, das die Bildpunkte in magnetische Impulse verwandelt und wie Tonaufnahmen auf einem Magnetband speichert.

3 Vesicularfotografie (Bläschenbildverfahren): Nutzt die Abspaltung von Stickstoff aus Diazoniumsalzen nach Belichten mit UV-Strahlen für die Bildaufzeichnung. Bisher nur für Kopierzwecke.

4 Thermoplastische Fotoverfahren: Das Bild wird ähnlich wie beim Magnetbildverfahren in elektrische Signale zerlegt, die auf einem Spezialfilm mit Thermoplastschicht fixiert werden.

5 Fotopolymerisation: Ein Prozeß, bei dem durch fotochemische Auslösung Polymerisationen in Gang gesetzt werden.

6 Diazotypie: Lichtpausverfahren, das auf der Lichtempfindlichkeit von Diazoverbindungen beruht.

7 Chromotypie: Bildaufzeichnungsverfahren, das auf der Chromgerbung von Gelatineschichten unter Lichteinfluß beruht.

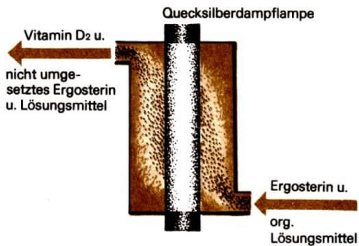
8 Thermographie: Verfahren, das die von Körpern und Gegenständen ausgehende Wärmestrahlung fotografisch mittels Infrarotmaterial aufzeichnet.

zuleiten. Möglicherweise werden wir eines Tages im 21. Jahrhundert sogar in der Lage sein, die Fotosynthesereaktion zur Erzeugung von Nahrungsmitteln und anderen organischen Produkten industriell nutzen zu können.

In diesem Zusammenhang ist die Frage nach den Aussichten technischer Fotosynthesen von Interesse. Heute noch werden rund 95 % aller wichtigen chemischen Prozesse durch Wärmeenergie initiiert. Das ist die einfachste und oft auch die unkomplizierteste Form der Reaktionsauslösung. Aber die Absorption eines UV-Lichtquants von 253,7 μm Wellenlänge erhöht die inermolekulare Energie immerhin auf einen Wert, der einer mittleren Wärmebewegung von zirka 40 000 K entspricht! Die Zahl der potentiell möglichen fotochemischen Reaktionen ist deshalb sehr groß.

Kurz vor dem zweiten Weltkrieg wurde in Leuna als erster fotochemischer Prozeß die Sulfochlorierung im großtechnischen Maßstab eingeführt. Dabei werden kettenförmige Kohlenwasserstoffe mit Chlor und Schwefeldioxid (SO_2) unter der Einwirkung von Licht bei Zimmertemperatur in Sulfochloride (RSO_2Cl , Mersole) übergeführt, die man sodann in einfacher Reaktion zu synthetischen Waschmitteln (Mersolaten), Textilhilfsmitteln (Sulfamiden) und Lösungsmitteln für Kunststoffe (Sulfonsäureestern) umwandelt. Auch die fotochemische Chlorierung des Benzols zu dem bekannten Insektizid Hexachlorzyklohexan wird in der DDR schon seit längerer Zeit praktiziert. Als bekannteste fotochemische Zyklisierung sei die Umwandlung von Ergosterin (aus Hefe) in das antirachitische Vitamin D_2 mit UV-Licht erwähnt. In Japan wurde eine erste technische Anlage zur fotochemischen Produktion von Kaprolaktam aus Zyklohexan und Nitrosylchlorid aufgebaut. Fotochemische Polymerisationen werden bisher nur in der Lichtdrucktechnik ausgenutzt. Relativ günstige Zukunftsaussichten wird der fotochemischen Synthese von organischen Verbindungen mit ausgefallenen Strukturen und hohem Energieinhalt beigegeben, die anderweitig nicht oder schwieriger zugänglich sind.

Einen beträchtlichen Bedeutungszuwachs könnten fotochemische Prozesse gewinnen,



Großtechnisch praktizierte fotochemische Umagerung von Ergosterin (aus Hefe) in das antirachitische Vitamin D_2 . Endprodukt der Reaktion ist eine Mischung von Vitamin D_2 und nicht umgesetztem Ergosterin, die durch Kristallisation getrennt wird.

wenn es gelänge, die Fotosensibilisation in der Technik nutzbar zu machen. Eine breitere Anwendung findet diese Fotokatalyse vorläufig aber nur in der Fotografie. Bekanntlich wird dabei aus den Bromidionen durch auftreffende Photonen je ein Elektron abgespalten, das die Silberkationen zum elementaren Silber reduziert. Silberbromid (AgBr) absorbiert jedoch nur blaues Licht bestimmter Wellenlängen. Um die Fotografie wäre es aber schlecht bestellt, wenn nicht auch grünes oder rotes Licht wirksam gemacht werden könnte. Das läßt sich erreichen, wenn man der Fotoemulsion als Sensibilisatoren Zyaninfarbstoffe zusetzt. Sie fangen auch solche Photonen ein, auf die das AgBr nicht anspricht. Danach übertragen sie die so gewonnene Anregungsenergie strahlungslos auf das AgBr .

Leider sind Ausbeute und Selektivität fotochemischer Reaktionen für großtechnische Zwecke meist noch zu gering und die Kosten zu hoch. Trotzdem wird allorts eingeschätzt, daß derartige Prozesse in der Zukunft industriell stärker genutzt werden. Fotochemisch wirksame Strahlung ist in ausreichender Menge im Sonnenlicht enthalten. Deshalb vertreten manche Autoren die Auffassung, daß man die Wüstengebiete der Erde als Bestrahlungsflächen für großchemische Anlagen nutzen sollte. Andererseits können

dafür nur wenige Territorien in Frage kommen, wenn man die industrielle Produktion nicht den Schwankungen der Wetterlage aussetzen will. Technologisch günstiger ist deshalb die Verwendung künstlicher Lichtquellen. In diesem Zusammenhang wird der Entwicklung selektiver Syntheseverfahren, die mit Licht ganz bestimmter Wellenlänge arbeiten und dazu auch den Laser als leistungsfähiges Werkzeug verwenden, größere Aussichten beigemessen. Es bleibt abzuwarten, wie weit der dazu erforderliche Energieaufwand die Rentabilität der Fotochemie begrenzen wird.

Chemielaser und Laserchemie

Zu den Wunderkindern der modernen Naturwissenschaft und Technik gehört ohne Zweifel der Laser. Bald schon, nachdem das geheimnisvolle Licht 1960 etwa gleichzeitig in einem sowjetischen und in einem amerikanischen Physikalaboratorium zum ersten Male aufgeblitzt war, ging eine Welle phantastischer Nachrichten und Spekulationen um die Welt. Die Möglichkeit, Entfernungen mit einer bis dahin unbekannten Genauigkeit (Abweichungen von höchstens 1 cm auf 10 km) zu vermessen, eröffnete dem Zaubersahl von der Landvermessung über die garantiert lotrechte Errichtung von Fernsehtürmen (Ostankinol), Kühltürmen und Wohnungsbauten bis zur Orientierung im Weltraum eine große Palette wichtiger Anwendungsmöglichkeiten. Die unblutige Laserchirurgie (z. B. für Augenoperationen), das Lasertelefon, Computer mit laserbetriebenen Hologrammspeichern, das Schneiden von Polyestergerirken, Wirtschaftsglas, Kunstleder und Blechen, besonders auch in komplizierten Formen, die Auslösung der Kernfusion: Das alles sind reale und potentielle Einsatzgebiete dieses Wunderstrahls.

Der Name Laser bedeutet: *Light Amplifikation by Stimulated Emission of Radiation*, d. h. Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung. Mit dem Laser wird das übliche Durcheinander der Schwingungen beseitigt und kohärentes, monochromatisches Licht (sozusagen Photonen im Gleichschritt) mit einer hohen Energiedichte erzeugt. Es handelt

sich also um einen physikalischen Effekt. Das gilt auch für die meisten Anwendungsmöglichkeiten. Aber auch die Chemie greift in das Spiel um den Laserstrahl ein. Dabei ergeben sich zwei ganz verschiedene Aspekte. Der eine liegt im Bereich der Lasernerzeugung, der andere auf dem Gebiet der Lasernwendung.

Die entscheidenden Effekte, auf Grund derer das Laserlicht zustande kommt, sind an Stoffe mit bestimmten Eigenschaften gebunden. Bei der Entwicklung und Synthese derartiger »laseraktiver« Substanzen hat die mit der Festkörperphysik verbundene Chemie Hervorragendes geleistet. So wird der Prototyp aller Festkörperlaser (der Rubinlaser) heute mit synthetischen Rubinen betrieben, die etwa 0,035% Chrom enthalten. Auch mit Neodymionen gezielt »verunreinigte« Kristalle und Gläser haben sich für diese Zwecke bewährt. Eine Abart der Festkörper-Lichtverstärker ist der Halbleiterlaser, der z. B. mit Galliumarsenidkristallen bis zu einigen 100 W Leistung erreicht. Der bekannteste Gaslaser arbeitet mit einem Helium-Neon-Gemisch, in dem durch Hochfrequenz oder Gleichstrom eine Gasentladung erzeugt wird. Mit der neuesten Gaslaservariante, dem gasdynamischen Laser, können Dauerleistungen bis zu 100 kW erreicht werden.

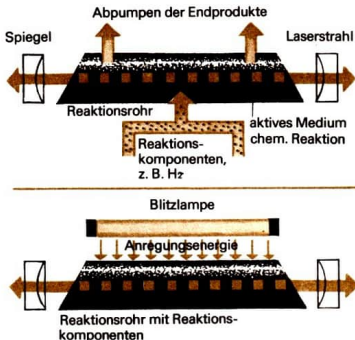
Ausgesprochen zukunftssträchtige Möglichkeiten bietet die Entwicklung der Flüssigkeitslaser. Mit ihnen läßt sich das sogenannte »Laserklavier« realisieren. Darunter versteht man einen Lichtverstärker zur Erzeugung von Laserstrahlen mit stufenlos veränderlicher Wellenlänge. Als aktives Medium haben sich gelöste Chelate (z. B. Europiumchelate) und Neodymtrifluorazetat in Phosphoroxitrichlorid bewährt. Noch wirksamer erwiesen sich die seit Anfang der 70er Jahre schon praktisch eingesetzten Farbstofflaser, bei denen die Veränderung der Wellenlänge zwischen 340 und 1200 nm durch Variieren von Konzentration, Temperatur und Schichtdicke einer Farbstofflösung erreicht werden kann. Ein seit dem Jahre 1970 in Serie produziertes sowjetisches Farbstoff-Laserklavier arbeitet wie ein Trommelrevolver. Das Magazin des Gerätes ist mit verschiedenen Farbstofflösungen gefüllt, die in Abhängigkeit von der gewünschten Wellenlänge des Laserlichtes wahlweise in den Aktivierungsraum eingedreht werden. Der ent-

sprechende Laserstrahl verläßt das Gerät durch den Revolverlauf. Die eingesetzten organischen Farbstoffe sind weitverbreitete Substanzen (z.B. gewöhnliche Textilfarbstoffe), die natürlich viel preiswerter beschafft werden können als teure Rubine oder Salze von Seltenen Erden.

Zu den jüngsten Kindern der Laserfamilie gehören die chemischen Laser, die in Abweichung von den Gepflogenheiten der Spezialisten ihren Namen nicht vom aktiven Medium erhalten haben, sondern nach der Art der bei gewissen chemischen Reaktionen freigesetzten »Pumpenergie«, mit der die bei der Umsetzung entstehenden Moleküle oder Atome sozusagen mit Energie aufgepumpt werden. Der auf diese Weise gespeicherte Energievorrat wird in Form der Laserstrahlung wieder abgegeben.

Chemische Laser beruhen auf exothermen Gasphasenreaktionen, die als Kettenreaktionen ablaufen können. Unter anderen kommen folgende Pumpsysteme bzw. emittierende Teilchen in Frage: $H_2 + Cl_2/HCl$, $Cl_2 + HJ/HCl$, $CS_2 + O_2/CO$, $H_2 + F_2/HF$, $CO + O_2/CO_2$, $NOCl/NO$ sowie CH_3J/J . Als Funktionsbeispiel sei das $H_2 + F_2/HF$ -System beschrieben: Zunächst wird das leicht zu handhabende Inertgas SF_6 in einen hocherhitzten Stickstoffstrom (etwa $1000^\circ C$) eingespritzt, wobei es dissoziiert. Dann mischt man Wasserstoff (H_2) zu, der mit Fluor (F_2) zu angeregtem Fluorwasserstoff (HF) reagiert. Die angeregten HF passieren mit Überschallgeschwindigkeit ein optisches System. Zwischen zwei goldbeschichteten konkaven Beryllium-Kupfer-Spiegeln dieses Systems entsteht der Laserstrahl durch Energieabgabe der HF mit einer Wellenlänge von $2,6$ bis $2,9 \mu m$. Leider wird der größte Teil der Anregungsenergie des HF als Wärme abgegeben. Deshalb ist das abgestrahlte Gas sehr heiß, so daß Kühlprobleme auftreten. Bei Verwendung eines Lichtbogens als Energiequelle zur SF_6 -Dissoziation wurden bereits Leistungen von $1 kW$ erzielt.

Die Energieausbeute chemischer Laser kann (ohne die Gasaufheizung) mehr als 12% gegenüber 2% bei normalen elektrischen Lasern betragen. Der chemische Laser ist auch potentiell billiger und sehr robust. Als wesentlicher Vorteil wird außerdem eine hohe kon-



Chemische Laser. Ihr Hauptvorteil ist die hohe Energiekonzentration je Volumeneinheit, die auch die Entwicklung von netzunabhängigen Hochleistungslasern ermöglicht.

Oben: Mit selbständig ablaufender Reaktion für kontinuierlichen Betrieb. Unten: Mit anregungsbedürftiger chemischer Reaktion für diskontinuierlichen Impulsbetrieb. Der schräge Abschluß des Reaktionsrohres hilft Reflexionsverluste zu vermeiden.

tinuierliche Ausgangsleistung genannt. Bestimmte chemische Systeme werden künftig als stromunabhängige tragbare Lichtverstärker zum Einsatz kommen.

Das chemisch erzeugte Laserlicht kann wie jeder andere Laserstrahl verwendet werden. Aber der chemische Laser ist darüber hinaus interessant, weil das emittierte Licht Rückschlüsse auf den Reaktionsmechanismus zuläßt. So kann man z.B. aus den Laserlinien der HF -Reaktion ableiten, daß sich die Reaktionsenergie zu 57% auf Schwingungs-, zu 37% auf Translations- und zu 6% auf Rotationsfreiheitsgrade aufteilt. Außerdem lassen sich Reaktionsgeschwindigkeiten bestimmen.

Mit Hilfe der Lasertechnik erlebt auch die Spektroskopie einen neuen Frühling. Spektralanalysen, die vorher viel Arbeit erforderten, lassen sich damit in $10^{-11}s$ durchführen. Mit einem solchen Hilfsmittel kann man sich sogar die extrem kurzlebigen Zwischenprodukte einer chemischen Reaktion genauer

ansehen. Laserlicht ermöglicht deswegen die Untersuchung sehr schnell ablaufender Reaktionen. Vielleicht wird man solche Schnellmessungen in der Zukunft bei der automatischen Steuerung chemischer Prozesse anwenden können. Mit Erfolg werden Laser auch zur Luftanalyse eingesetzt, wobei die elegante Möglichkeit einer Fernmessung aufwendige Probenahmen überflüssig macht.

Nach alledem kann damit gerechnet werden, daß sich der Laserstrahl für den Chemiker immer mehr zu einem interessanten analytischen Hilfsmittel entwickeln wird.

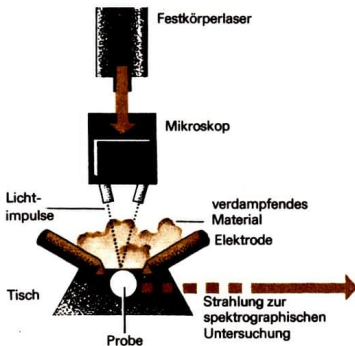
Perspektivisch noch bedeutsamer erscheint jedoch die Aussicht, den Laser als ein neuartiges Instrument für die Auslösung und Beeinflussung von Dissoziations-, Synthese- und Katalyseprozessen verwenden zu können. Wenn man nämlich die Schwingung der Laserstrahlen in Resonanz mit der Schwingungsfrequenz eines Moleküls bringt, kann man diese Schwingung bis zum Bruch der entsprechenden Bindung »aufschaukeln« und so chemisch aktive Molekülbruchstücke erzeugen. Diese Möglichkeit eröffnet dem Laserstrahl in der Chemie beachtliche Perspektiven, weil man damit – wenn auch vorerst nur theoretisch und teilweise im Labor – chemische Bindungen nach Wahl zerreißen und danach gezielt neue Molekülstrukturen aufbauen kann. Um derartige Reaktionen zu realisieren, muß man wahrscheinlich die Laserfrequenz kontinuierlich verändern können oder einen Satz von Lasern mit verschiedenen Frequenzen zur Verfügung haben.

Leider gibt es bis jetzt nur sehr spärliche Hinweise auf praktisch nutzbare laserangeregte Prozesse. So wurde die Anwendung eines chemischen Lasers als »selektiver Bunsenbrenner« zur Isotopentrennung beschrieben, denn verschiedene Isotope haben unterschiedliche Schwingungsfrequenzen im Ausgangsmolekül. Dabei benutzte man einen HF-Laser zum Aufheizen von Methanol in einer 1:1-Mischung von CH_3OH und CD_3OD (D = Deuterium = schwerer Wasserstoff). Methanol reagierte glatt mit beigemischem Brom, während deuteriertes Methanol kalt blieb und sich wesentlich langsamer umsetzte. Es wurde bei 90W Strahlungsleistung in 60s auf 95% angereichert. Mit Laserlicht könnte ferner eine Gasentladung angeregt

werden, die zur NO-Bildung führt. Außerdem ist die Auslösung von Kettenreaktionen sowie die Azetylenbildung möglich.

Es steht heute außer Zweifel, daß der Laserstrahl bis zur Jahrtausendwende zum Träger vieler neuartiger Technologien werden wird. Die Auffassungen über die Rolle des Lasers speziell in der Chemie gehen aber noch ziemlich weit auseinander. Einerseits kann angenommen werden, daß die jetzt noch bestehenden Schwierigkeiten im Laufe der Zeit zu überwinden sind, andererseits muß auf diesem Gebiet noch eine Menge Grundlagenarbeit geleistet werden, bevor an eine praktische Nutzung von laserangeregten Reaktionen auch nur für präparative Zwecke zu denken ist. Ob jedoch mit Hilfe der Laserstrahlen rationelle Methoden für die Auslösung chemischer Reaktionen im industriellen Maßstab erschlossen werden können, ist heute noch sehr fraglich.

Prinzip eines Laser-Mikrospektral-Analysators. Durch die Laserstrahleinwirkung verdampft das Material. Der teilweise ionisierte und damit leitfähige Dampf löst eine Funkenentladung zwischen den Elektroden aus. Dadurch werden die Atome zur Aussendung einer Strahlung angeregt. 10^{-6} bis 10^{-9} Gramm genügen für den Nachweis von 60 chemischen Elementen!



Chemie im vierten Aggregatzustand!

Immer und überall suchen die Chemiker nach Methoden, um chemische Synthesen unter neuartigen Bedingungen durchführen zu können. Schon gegen Ende des vorigen Jahrhunderts kamen sie dabei auf den Gedanken, ihre Experimente auch im Lichtbogen ablaufen zu lassen (Moissan 1893). So weit liegt die Geburtsstunde einer Experimentierrichtung zurück, die sich seit einigen Jahren unter der publikumswirksamen Bezeichnung Plasmachemie zu einem munteren Sprößling der unverwüstlichen Mutter Chemie zu mausern beginnt.

Plasma – das ist ein Begriff aus der Physik, der für den merkwürdigen Zustand eines Gases geprägt worden ist, in dem dessen Teilchen nicht wie im Normalfall aus neutralen Atomen oder Molekülen bestehen, sondern zu einem (von der Temperatur abhängigen) mehr oder weniger großen Teil aus Ionen nebst den dazugehörigen Elektronen. Dadurch ist das Gas einerseits zwar als Ganzes neutral, andererseits aber wird es elektrisch leitend, und es zeigt ein charakteristisches Verhalten im Magnetfeld. Wegen dieser und anderer eigentümlicher Eigenschaften bezeichnet man das Plasma oft auch als den vierten Aggregatzustand der Materie.

Jeder versteht, daß zur Spaltung von neutralen Gasteilchen in Ionen und Elektronen beträchtliche Energiemengen nötig sind. Je höher also die Temperatur eines Gases ist, um so mehr Ionen und Elektronen werden vorhanden sein. Bei normalen Lichtbogentemperaturen um 3000 bis 6000 K liegen Radikale, Ionen und angeregte Molekülbruchstücke nebeneinander vor. Oberhalb von 5000 bis 6000 K (Sonnoberfläche etwa 6000 K) sind alle Stoffe bei Normaldruck gasförmig. Sie bestehen jetzt nur noch aus Atomen, Ionen und Elektronen. Bei Temperaturen über 10000 K ist das Plasma der einzig mögliche Zustand der Materie überhaupt. Die meisten Fixsterne einschließlich unserer Sonne sind demnach nichts anderes als gigantische Plasmakugeln. Daraus folgt, daß der vierte Aggregatzustand viel häufiger ist, als man auf den ersten Blick annehmen möchte. Etwa 99 % des gesamten Weltalls befinden sich im Plasmazustand.

Auf der Erde allerdings kann Plasma nur künstlich hergestellt werden. Dabei stößt man sofort auf die Frage, aus welchem Werkstoff die dafür benötigten Reaktionsapparate bestehen sollen. Feuerfeste Steine aus nahezu reiner Tonerde vertragen jedenfalls »nur« etwa 2200 K. Bis etwa 3300 K helfen manchmal noch Graphit oder hochschmelzende Metalle bzw. Metalloxyde (z. B. Wolfram und Molybdän oder Thoriumdioxid und Zirkoniumdioxid), sofern sie nicht chemisch reagieren. Darüber hinaus ist in festen Gefäßen keine Reaktion mehr möglich. Lichtbogen läßt man deshalb inmitten von Räumen mit niedriger Wandtemperatur brennen, oder man hängt das Plasma in einem Magnetfeld auf. Durch Anwendung von hohen Drücken und »Hochstromkohleelektroden« sind in einem durch solche Magnetfelder auf engem Raum zusammengehaltenen Plasma bereits Temperaturen bis zu 50 000 K erreicht worden.

Der vierte Aggregatzustand mit seiner hohen Konzentration an reaktionsfähigen Teilchen bietet die Möglichkeit, chemische Reaktionen unter neuartigen Bedingungen zu realisieren, wobei mit zunehmender Temperatur Radikalmechanismen die Oberhand gewinnen. Aber das Plasma ist durchaus nicht nur jenes brutale Instrument, wie es etwa in Gestalt des Lichtbogens in Erscheinung tritt. Außer diesen heißen Plasmen, in denen ein thermisches Gleichgewicht besteht und die spezifische Energie von Neutralteilchen, Elektronen und Ionen in der gleichen Größenordnung liegt, kann man auch kalte Plasmen (< 1000 K) erzeugen. Dabei erreichen die Elektronen eine wesentlich höhere Temperatur als die Neutralteilchen und auch als die Ionen. Im kalten Plasma liegen also keine thermischen Gleichgewichte vor. Ein typisches Beispiel dafür ist die Glimmentladung¹. So herrscht in einer Neonröhre eine Elektronentemperatur von 25 000 K, während die

¹ Glimmentladung: Normalerweise selbständige Gasentladung, in der die Elektrodentemperaturen so niedrig bleiben, daß die Elektronennachlieferungen an der Katode nur durch Sekundär- und Fotoemission, im Gas durch Stoßionisation erfolgt. Die Elektroden sind dabei mit einer Lichthaut (Glimmhaut) überzogen. Es entsteht ein schwach ionisiertes Plasma mit Elektronentemperaturen von 10^4 bis 10^5 K.

Neutralteilchen und Ionen nahezu die Temperatur der Umgebung haben.

Der Lichtbogen ist besonders für solche (endothermen) Reaktionen geeignet, die unter normalen Bedingungen eine zu geringe Reaktionsgeschwindigkeit besitzen oder aus thermodynamischen Gründen gar nicht ablaufen können. Durch Auswahl geeigneter Gasmedien hat man es in der Hand, ganz bestimmte Umsetzungen durchzuführen. So kann man durch Plasmabrennen in Sauerstoff die große Reaktionsfähigkeit des entstehenden Ozons nutzen. Im Stickstoffplasma lassen sich exotische Verbindungen wie N_2F_4 und TiN darstellen. Wasserstoffplasma hat reduzierende Wirkungen und wird deshalb z. B. in der UdSSR zum Aufschluß von Eisenerzen verwendet. Die Herstellung von Azetylen und technischem Wasserstoff aus Erdgas, von ungesättigten Kohlenwasserstoffen aus Benzin und Roherdöl sowie die Gewinnung von Synthesegas für die Produktion von Vinylchlorid sind bereits in kleinerem Maßstab industriell realisiert worden. In Tübingen gelang mit einer durch Hochfrequenz angeregten Gasentladung die Erzeugung von Stickstoffoxyd (NO) aus der Luft in einer Ausbeute von 21 %, bezogen auf die bei 0,02 bar durchgesetzte Luft und 8 kW. Mit 1 kWh eingesetzter Energie konnten 32 g NO erzeugt werden. Die Gewinnung von Ammoniak im Plasmastrahl ist gegenwärtig zwar noch nicht billiger, aber für die Zukunft erscheint sie technologisch vorteilhafter als das übliche Verfahren.

Große Fortschritte wurden bei der Entwicklung von heißen Plasmaprozessen zur Synthese von Oxiden, Boriden, Nitriden, Karbiden gemacht, unter anderem um hitzebeständige und gleichzeitig harte Konstruktionswerkstoffe für neuartige Kraftwerke zu schaffen. Urankarbid wird in der UdSSR aus Kohlenstoff und Urandioxid bereits im 20-t-Maßstab hergestellt. Inzwischen ist auch die Gewinnung von Titandioxidpigmenten durch Verbrennen von Titantetrachlorid im Sauerstoffplasma mit erheblichem Nutzen industriell eingeführt worden. In den USA wird seit 1972 bei etwa 11000 K ein neues Verfahren zum Aufschluß des Minerals Zirkon erprobt, wobei man 99prozentiges ZrO_2 mit einer sehr gleichmäßigen Kristallitgröße für Glasuren und hochfeuerfeste Steine erhält.

Die Reaktionsdauer im Hochtemperaturplasma ist äußerst kurz. Bei 4800 bis 5300 K wird z. B. Methan in einer zehntausendstel Sekunde zu 75 bis 80% in Azetylen umgewandelt. Dies bedeutet, daß man die Apparate sehr kleinhalten kann. Ein Methan-Plasmotron mit einer Leistung von 25000 Jahrestonnen Azetylen brauchte nur eine Länge von 65 cm und einen Durchmesser von 15 cm zu haben. Die Zusammensetzung der Rohstoffe darf in weiten Grenzen schwanken. Allerdings besteht die Gefahr, daß die gebildeten Moleküle weiterreagieren. Deshalb ist das sofortige »Einfrieren« der Gleichgewichte für den Erfolg sehr wichtig. Daraus erwachsen technologisch und apparativ extrem hohe Anforderungen, die vorläufig noch nicht befriedigend gelöst sind. Auch muß man zugeben, daß bislang noch ziemlich aufwendige Anlagen für die Gastrennung erforderlich sind.

Für Polymerisationen und Oberflächenreaktionen erscheinen Hybridplasmen mit Temperaturen zwischen 400 und 1000 K besonders geeignet.

Vielfältige Reaktionen ermöglichen die eigentlichen kalten Plasmen bei Temperaturen unter 400 K. Ein interessantes Beispiel bietet die Glimmnitrierung zur Härtung von Stahloberflächen. Der Werkstoff wird dabei in Ammoniakatmosphäre einer Glimmentladung ausgesetzt. Die entstehenden Eisennitride bilden eine sehr widerstandsfähige Oberflächenschicht. Auf diese Weise werden heute im industriellen Maßstab z. B. Walzwerkrollen und Schreibkugeln für Kugelschreiber oberflächlich gehärtet.

Die hohe Reaktionsbereitschaft vieler organischer Verbindungen mit atomaren Gasen und anderen Stoffen ist mit kalten Plasmen besonders gut zu realisieren. Einige hundert organische Substanzen sind bereits untersucht worden, wobei man fand, daß die Palette der Reaktionsmöglichkeiten von Isomerisierungen¹ über Eliminierungen² bis zu

1 Isomerisierung: Überführung einer Verbindung in eine isomere Form. Isomere Verbindungen haben gleiche Bruttoformeln und Molekülmassen, aber verschiedene Strukturformeln.

2 Eliminierungen: Austritt zweier Atome oder Atomgruppen aus einem Molekül unter Ausbildung einer Doppelbindung.

Beispiel: $CH_3-CH_2-Cl \rightarrow CH_2=CH_2 + HCl$

bimolekularen Reaktionen¹ reicht. In den Bayerwerken (BRD) konnten 1971 mit 1 kWh Energieaufwand etwa 20 g Hydrazin gewonnen werden. Dieses Chemikal könnte ein sehr aussichtsreiches plasmachemisches Produkt der Zukunft werden, denn es dient in Form von Dimethylhydrazin als Raketentreibstoff. Ebenso wäre es geeignet, das gewöhnliche Benzin zu ersetzen, wenn man es nur genügend billig gewinnen könnte. Auch zur CS₂-Darstellung wird zukünftig wahrscheinlich ein plasmachemisches Verfahren an Bedeutung gewinnen. Der erforderliche Investaufwand soll dabei nur 50 bis 70% der üblichen katalytischen Methode betragen.

Die Plasmachemie ist eine Gasphasenchemie. Ihre Wirtschaftlichkeit wird vom Masendurchsatz bestimmt. Hoher Durchsatz erfordert höhere Drücke. Das führt oft zu hohen Gastemperaturen, wodurch die organischen Verbindungen zerstört werden. Man hofft, diese Schwierigkeiten in der Zukunft mit pulsierenden Plasmen vermeiden zu können, weil dabei bis zu etwa 67 mbar die Überhitzung im Rahmen bleiben soll.

Gegenwärtig befindet sich die Plasmachemie noch ganz und gar in einem empirischen Zustand. Die Theorie ist schwierig und deshalb auch wenig entwickelt. Bei der großtechnischen Realisierung von Laborexperimenten gibt es viele Probleme, obwohl es sich meist um leicht modellierbare und regelbare Einstufenprozesse handelt. Die Plasmachemie organischer Verbindungen wird deshalb vorerst zu einer präparativen Arbeitstechnik ausgebaut. Organisch-chemische Massenproduktionen sind in der nächsten Zukunft noch nicht zu erwarten. Aber auch die anorganischen Reaktionen im heißen Plasma sind noch lange nicht ausreichend durchgearbeitet. In den kommenden Jahren muß besonders nach geeigneteren Gasentladungsbedingungen und selektivitätserhöhenden Maßnahmen gesucht werden. Auch der energetische Wirkungsgrad der Verfahren ist meist noch zu gering. Die Entwicklung von temperaturbeständigeren Reaktoren (Plasmatronen) einschließlich geeigneter Abschreck-

vorrichtungen sowie das Auffinden brauchbarer Verfahren zum Einbringen feindisperser Feststoffe wird jedoch der Plasmachemie ohne Zweifel weiter voranhelfen.

Reaktionen bei hohen Drücken

Nach und nach werden auch die entlegensten Winkel des »Weltreichs der Chemie« urbar gemacht. Ein solch schwer zugänglicher Winkel ist die Hochdruckchemie. Sie behandelt Stoffumwandlungen bei Drücken über 100 bar. Oberhalb von 1000 bar spricht man wohl auch von Höchstdruckchemie.

Mit der 1917 in Betrieb genommenen Ammoniakanlage (300 bar, 600°C) waren die Leuna-Werke für lange Jahre der größte Hochdruckchemiebetrieb der Welt. Ebenso bahnbrechend waren die Errichtung der Methanolanlage (300 bar, 400°C) im Jahre 1923 und der Versuchsanlage für die Kohlehydrierung (bis 700 bar) im Jahre 1926. Auch heute noch werden in der chemischen Großindustrie Drücke über 350 bar nur selten angewandt. Dazu gehören z. B. die bei 1500 bis 2500 bar durchgeführten Äthylenhochdruckpolymerisationen.

In den letzten 20 Jahren gingen starke Impulse zur Entwicklung der Höchstdruckverfahren vor allem von der Diamantsynthese und von der Raketenforschung aus. Heute können im halbtechnischen Dauerversuch maximal schon etwa 5000 bar erzeugt werden. Auf 100 000 bar lassen sich vorläufig nur sehr kleine Volumina (um 1 ml) bringen. Punktförmige statische Drücke kann man bis etwa 600 000 bar verwirklichen. Mit den bei Explosionen auftretenden Schockwellen lassen sich für Sekundenbruchteile (10^{-6} s) sogar Drücke bis zu einigen Millionen bar realisieren. Kernexplosionen werden noch größere Drücke ermöglichen.

Hoher Druck wirkt sich aus naheliegenden Gründen zuerst auf die Elektronenhüllen der Atome und Moleküle aus. Die Elektronenhüllen sind aber der Sitz des chemischen Reaktionsvermögens. Daraus ergibt sich für den Chemiker nicht nur die Bestätigung dafür, daß im Hochdruckgebiet eine chemische Reaktivität der Stoffe zu erwarten ist, sondern zugleich auch der Hinweis, daß die Voraus-

¹ Bimolekulare Reaktionen: Reaktionen, bei denen zwei reaktionsfähige Teilchen (z. B. Moleküle) an der Umsetzung teilnehmen.

setzung für das Verständnis chemischer Hochdruckreaktionen die Kenntnis des Druck- und Temperaturverhaltens der Stoffe ist. Hoher Druck führt bekanntlich zu einem nichtidealen Verhalten der Gase. Die Gaslöslichkeiten steigen, der Raumbedarf wird reduziert, und die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt zu. Oberhalb 10^2 bis 10^3 bar verschwindet der Unterschied zwischen Flüssigkeit und Gas und bei 10^3 bis 10^5 bar auch der Unterschied zwischen fester Phase und Gas. Die starke Kompression der Atome deformiert die Elektronenhüllen. Es kommt zu einer starken Überlappung der Elektronenorbitale¹. Dadurch wird die Beweglichkeit der Elektronen derartig erhöht, daß sich ionogene Bindungen in Richtung auf homöopolare Bindungen verändern. Diese wiederum gehen bei weiterem Druckanstieg (etwa bei 1 Megabar) in die metallische Bindung über. Wenn der Druck noch mehr erhöht wird (etwa auf einige Megabar), bleibt schließlich nur noch ein ungeordnetes Konglomerat aus Elektronen und Kernen übrig, das dem Plasmazustand der Materie ähnelt.

Diese Veränderungen im molekularen und atomaren Bereich finden ihren Niederschlag in merkwürdigen Eigenschaftsänderungen der Stoffe. So zeigt z. B. Stahl bei 12 000 bar ein zähflüssiges schmiegsames Verhalten, und bei 20 000 bar kann man sogar kautschukelastische Metalle bewundern. Bei 400 000 bar wird aus dem Isolator Schwefel ein elektrischer Leiter. Gewöhnliches Wasser, das hohen Temperaturen und starkem Druck ausgesetzt ist, wird chemisch aktiviert und löst Salze drei- bis viermal so gut wie nicht behandeltes. Durch intensive Druckerhöhung kann man jeden beliebigen Stoff in den metallischen Zustand überführen. Das gilt sogar für den gasförmigen Wasserstoff, dessen Existenz in metallischer Form erstmals 1973 von einer sowjetischen Forschergruppe bei einem explosiv erzeugten Druck von 2,8 Mill. bar nachgewiesen wurde. Metallischer Wasserstoff wird schon bei 100 K supraleitend, d. h., er überträgt den elektrischen Strom ohne Verluste. Mit den bisher bekannten Metall-

legierungen wird Supraleitfähigkeit erst bei etwa -252°C erreicht. Die Entdeckung könnte also der allererste Schritt einer Umwälzung in der Energiewirtschaft sein. Fester Wasserstoff wäre auch ein ausgezeichneter Raketentreibstoff, denn die Nutzlast, die jetzt etwa 10% der Raketenmasse beträgt, könnte dann auf beinahe 60% gesteigert werden. Man hofft, das eigenartige Material eines Tags auch bei normalem Druck in einem quasistabilen Zustand halten zu können.

Die Konsequenzen, die sich aus derartigen Veränderungen für den Chemismus der Stoffe ergeben, beherrschen wir theoretisch bislang nicht. Noch gibt es keine »Hochstadruckthermodynamik«, und die Experimentatoren haben gegenüber den Theoretikern ein klares Übergewicht. In den letzten zehn Jahren konnten sie zeigen, daß sich bei extremen Drücken viele Reaktionen durchführen lassen, die unter Normalbedingungen nicht realisiert werden können. So reichen etwa 4500 bar und 800°C aus, um in Gegenwart von Kohlenmonoxid und Schwefelwasserstoff Ammoniak aus den Elementen in 97prozentiger (!) Ausbeute herstellen zu können. Um die bereits erwähnte Äthylenpolymerisation zu optimieren, wird ein auf 4000 bis 7000 bar gesteigerter Druck für notwendig erachtet. Kalziumnitrat ist bei 13 000 bar und 800°C aus N_2 , O_2 und CaO darstellbar. Das in Säuren leicht lösliche Zink wird bei Drücken oberhalb von 8900 bar plötzlich gegen Schwefelsäure beständig. Bei 300°C und 35 000 bar bzw. 1200°C und 16 000 bar entstehen metastabile SiO_2 -Modifikationen, die im Gegensatz zum gewöhnlichen SiO_2 resistent gegen Flußsäure sind. Unter dem Einfluß von Stoßwellen wurden Polymerisationen und Vernetzungsreaktionen nachgewiesen. Isomerisierungen unter hohem Druck sind von Interesse, weil zu erwarten ist, daß sich bei einer großen Zahl von Nebenreaktionen das Gleichgewicht stark zugunsten der druckbegünstigten Teilreaktion verschiebt. Dadurch könnte man zu relativ einheitlichen Produkten kommen.

Natürlich müssen Druckbehälter für chemische Hoch- und Höchstdruckreaktionen maximalen Ansprüchen genügen. Der Schwerpunkt der Hochdruckapparatefertigung liegt bis auf weiteres bei den Mehrlagenblechbehältern, wobei das Aufziehen einer

¹ Elektronenorbitale: Bezeichnung für die Aufenthaltswörter der Elektronen in Atomen und Molekülen.

konzentrischen Wicklung auf ein Kernrohr als die günstigste Variante bezeichnet wird. Unsere besten Hartmetalle aus Wolframkarbid und Kobalt widerstehen einer Kaltbeanspruchung bis zu etwa 150 000 bar. Sie dienen zur Herstellung der eingangs erwähnten Apparaturen, mit denen winzige Volumina bei hohen Temperaturen und Drücken (z.B. bei 100 000 bar und 2300 K) schon stundenlang beeinflusst werden können. In der Zukunft wird man solche Apparate für noch höhere Drücke und vor allem für größere Volumina bauen. Dazu müssen ständig auch neue Werkstoffe getestet werden, wobei die aus der Raumfahrtentwicklung hervorgegangenen Spezialstähle besonders aussichtsreich sind. Wegen der hohen Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit werden herkömmliche Auskleidungswerkstoffe wie Aluminium und Kupfer mehr und mehr durch Tantal, Silber, hochlegierte Stähle und andere wertvolle Metalle ersetzt. Dichtungsprobleme lassen sich mit Speckstein oder speziellen Kunstharzen beherrschen.

Dessenungeachtet läuft die allgemeine Tendenz der Reaktionsführung bei chemischen Massenproduktionen aus energetischen und technologischen Gründen eher auf eine Reduzierung der hohen Drücke hinaus. Trotzdem kann damit gerechnet werden, daß auch die Theorie der Höchstdruckchemie ebenso wie die zugehörige experimentelle und industrielle Technik beachtliche Fortschritte machen wird. Damit bekämen die Chemiker eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung neuartiger Produkte (darunter auch von Werkstoffen mit extremen Eigenschaften) in die Hand, deren Anwendung aber aus ökonomischen Gründen stets auf spezielle Gebiete beschränkt bleiben wird.

Immer mehr Edelsteine aus der Retorte

Als ein Musterbeispiel der Hochdruckforschung kann die Diamantsynthese gelten, die 1954 nach 50jähriger Entwicklungsarbeit fast gleichzeitig in den USA und in Schweden bei 2000 °C und über 50 000 bar gelang. Die ersten künstlichen Diamanten waren 30mal teurer als die Natursteine. Aber schon zu Beginn der 60er Jahre wurden sie konkurrenzfähig. 1970

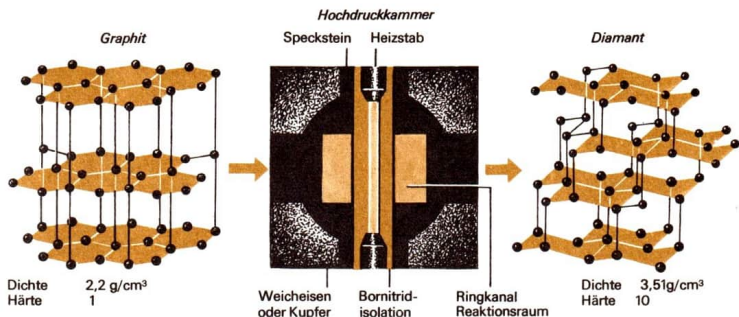
lag die Weltproduktion bei etwa 1000 kg. Heute werden jährlich bereits mehrere Tonnen synthetischer Diamanten erzeugt, die ohne verfeinerte physikalische Messungen von natürlichen Steinen nicht mehr zu unterscheiden sind. Ihr Anteil am Industriediamantenmarkt der Welt liegt bei über 70%.

Nach sowjetischen Einschätzungen werden in einem industriell hochentwickelten Land gegenwärtig etwa 2000 Karat (1 Karat = 0,2 g) Diamanten je 1 Mill. t verarbeiteten Stahls gebraucht. In bezug auf die Produktion und Anwendung von Synthesediamanten (in bisher über 8000 Betrieben) nimmt die UdSSR unter allen Ländern den ersten Platz ein. Die sowjetische Industrie erzeugt mehr als 2500 Typen von Diamantwerkzeugen, und zwar von der winzigen Drahtziehvorrichtung für nur 1 µm Durchmesser bis zu mächtigen Schneidscheiben für großformatige Gesteinsblöcke. Die Herstellung und Anwendung von Synthesediamanten in der UdSSR wächst jährlich um etwa 40% gegenüber etwa 10 bis 12% in den kapitalistischen Industrieländern.

Die industriell betriebene Diamantsynthese beruht auf der Umwandlung von Graphit. Als Katalysatoren dienen metallisches Nickel, komplizierte Mischungen von Eisen, Nickel und Chrom sowie Fe_3C -Graphit-Mischungen. Meist löst man den Graphit im Katalysator auf und läßt bei Drücken von 50 000 bis 60 000 bar und Temperaturen von 1400 bis 1600 °C rekristallisieren.

Seit den 60er Jahren versucht man auch, die im vorigen Abschnitt erwähnte Schockwellenmethode zur Diamantenproduktion auszunutzen. Mit Hilfe einer Detonation wird eine Metallplatte flach auf einen 3% Graphit enthaltenden Gußeisenklotz geschossen und dabei kurzzeitig ein Druck zwischen 400 000 und 700 000 bar erzeugt. Während dieser Reaktion entsteht ein reines Diamantpulver. Das Verfahren ist deswegen interessant, weil man keine teuren Druckpressen wie bei der klassischen Synthese benötigt.

Alle diese Technologien liefern sehr kleine Kristalle, die je nach der Verfahrensweise nur wenige Zehntel bis günstigstenfalls etwa 1 mm groß sind. Solche Steine eignen sich zwar für die Industrie, aber nicht für Schmuckzwecke. Neuerdings gelang es jedoch, Dia-



Prinzip der Herstellung von Synthesediamanten aus Fe_3C und Graphit in einem Hochdruckreaktor.

mantkristalle mit Durchmessern bis zu 6 mm wachsen zu lassen. Man geht dabei von kleinen Diamanten aus, die zunächst im geschmolzenen Katalysator aufgelöst werden. An einer etwas kälteren Stelle der Schmelze wird ein winziger Diamantkristall als Keim angebracht, der im Verlauf einiger Tage bei 55 000 bis 60 000 bar und 1400 bis 1500 °C zu einem Einkristall hoher Güte heranwächst. Etwas kleinere Steine kann man auf ähnliche Weise neuerdings sogar bei Normaldruck erzeugen, indem man aus Methan mit Hilfe einer starken Xenonlampe abgespaltene Kohlenstoffatome auf einem Kristallkeim niederschlägt. Aber die Synthese von Diamanten, die sich zu größeren Brillanten verarbeiten lassen, ist so kompliziert und kostspielig, daß derartige Steine in der nächsten Zeit noch nicht mit den natürlichen konkurrieren können. Ein Kristall von 50 bis 60 g (250 bis 300 Karat) kostet soviel wie eine Tonne Gold!

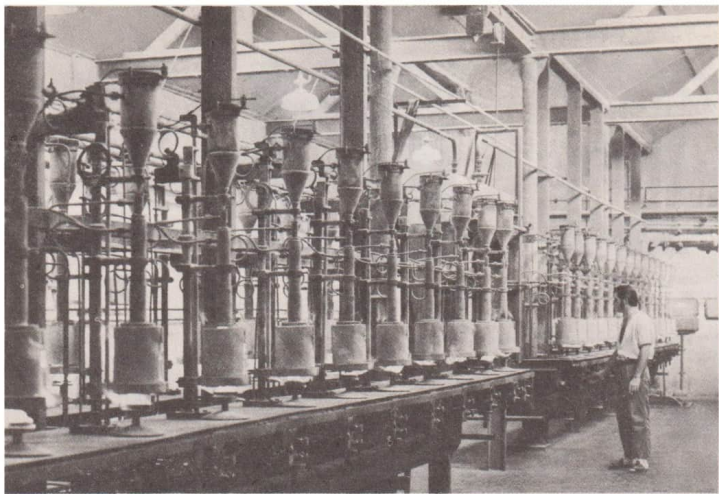
Synthesediamanten werden demnach bis heute fast ausschließlich für industrielle Zwecke verwendet. Diamantpulver und -pasten sowie Schneid- und Bohrwerkzeuge mit Diamantenbesatz sind für die Bearbeitung moderner Stähle und anderer Werkstoffe unentbehrlich geworden. Die Arbeitsproduktivität steigt dabei durchschnittlich um 30 bis 50% und oft sogar um 100%. In der BRD wur-

den bei der Reparatur einer Wasserleitung 3,4 m dicke Betonrohre mit einer Diamantsäge in mehrere Teile zerlegt. Für jeden der rund 9,5 m langen Schnitte wurden nur zehn Minuten benötigt. Auch als Lagersteine für Uhren und Präzisionsinstrumente, als Schneidsteine für Werkzeuge der Metall- und Glasverarbeitung sowie in Ziehdüsen zur Herstellung dünner Drähte werden Diamanten verwendet. Übrigens soll die schwarze Form des Diamanten, der Carbonado, härter als alle anderen in der Natur gefundenen Diamanten sein. Deshalb ist er als Bohrkronenbesatz und auch für die Diamantbearbeitung selbst besonders geeignet. Die Herstellung von Carbonados ist 1971 in den USA durch Zusammensintern von gewöhnlichem Diamantpulver bei Drücken von 30 000 bis 80 000 bar und 1000 °C gelungen.

Das gebräuchliche Hartmetall (eigentlich eine gesinterte Mischung verschiedener Metallkarbide) wird trotz steigender Diamantproduktion seine Bedeutung behalten, denn Hartmetall ist zwar nicht so hart, aber dafür temperaturbeständiger als der Diamant.

Inzwischen kann man auch Stoffe herstellen, die noch härter sind als der Diamant. Als Rohstoff dient das Bornitrid, woraus bei über 100 000 bar und 2000 °C das Borazon entsteht. Es eignet sich als Bohr- und Schleifmittel für äußerst harte Stoffe bei sehr hohen Temperaturen. In Japan soll auch aus Magnesiumsilikat eine Substanz gewonnen worden sein, die härter als der Diamant ist.

Neben dem Diamanten erfüllen besonders



Hier werden synthetische Edelsteine hergestellt. Verneuil-Anlagen in den Bunawerken.

die Korunde (z. B. rote Rubine und blaue Saphire) in vollkommener Weise alle Anforderungen, die man an einen Edelstein stellt. In der Härte werden sie ebenso wie die Spinelle nur vom Diamanten übertroffen. Obwohl die Versuche zur Korundherstellung bis auf den Beginn des vorigen Jahrhunderts zurückgehen, gelang erst um die Jahrhundertwende fast gleichzeitig in Frankreich und in Deutschland eine praktikable technische Synthese (Verneuilverfahren), nach der auch heute noch die meisten künstlichen Edelsteine hergestellt werden: Hochreines Tonerdepulver (Al_2O_3) wird in einer Knallgasflamme geschmolzen. Die Schmelze tropft auf einen Schamotteträger, wo sich ein Kristallkeim bildet, der im Laufe von Stunden zu einem 80 mm langen und 10 bis 30 mm dicken Einkristall heranwächst. Die besonders in der Uhren- und Geräteindustrie eingesetzten Ko-

runde sind heute ebenso wie die als Resonatormaterial und für rauscharme Verstärker unentbehrlichen, superhomogenen Rubine ausschließlich Synthesesteine. Die Weltproduktion liegt bei einigen 100 t pro Jahr.

Nach dem Verneuilverfahren können auch andere Stoffe mit hohen Schmelzpunkten, z.B. Titandioxid, Kalziumwolframat und Schwermetalloxide, als Einkristalle gezüchtet werden. Die seit 1910 bekannte Methode zur Herstellung von Quarzkristallen bei Temperaturen von 300 bis 400 °C und Drücken von 1000 bis 2000 bar ist heute so weit fortgeschritten, daß Einkristalle von mehreren Kilogramm Gewicht erzeugt werden können. Man verwendet sie in der Hochfrequenztechnik, um Schwingungen zu stabilisieren sowie Sender und Präzisionsuhren zu steuern. Der Synthesequaranteil am Weltverbrauch beträgt etwa 65%. Abschließend sei erwähnt, daß schon seit 1930 auch synthetische Smaragde hergestellt werden können, die man fast ausschließlich in der Schmuckindustrie verarbeitet.

Metallatomsynthese, Tribochemie, Hochfeldchemie

Auch das sind Namen, die von den unablässigen Bemühungen der Chemiker zeugen, chemische Reaktionen durch neue Prozesse auszulösen und zu gestalten. Die drei Arbeitsgebiete, die sie bezeichnen, haben nur eines gemeinsam – das ist die mehr oder weniger große Unsicherheit, die ihre zukünftige Bedeutung für die praktische Chemie betrifft.

Zu den bemerkenswerten Agenzien der chemischen Synthese gehören im Augenblick die Metallatome. Man kann sie auf einfache Weise durch Verdampfung der Metalle im Hochvakuum erzeugen. Diese Technologie ist relativ weit entwickelt, da das Beschichten von Werkstoffen mit dünnen Metallfilmen zur Oberflächenvergütung bereits industriell angewendet wird. Das isolierte Metallatom ist energiereicher, und außerdem ist es vollkommen »nackt«. (Einer der Pioniere dieser Arbeitsrichtung mußte sich im Scherz sagen lassen, er habe mit dem nackten Nickel den »Sex« in die Chemie eingeführt.) Diese beiden Faktoren haben eine erhebliche Reaktivitätssteigerung zur Folge. Tatsächlich reagieren Metalle in atomarer Form mit einer Vielzahl von Substraten schon bei der Temperatur des flüssigen Stickstoffs! Sie verbinden sich leicht mit Aromaten, Olefinen, Kohlenmonoxid, Phosphorverbindungen, fluorierten Kohlenwasserstoffen und anderen Substanzen. Vielversprechend erscheint die Methode besonders in der metallorganischen Chemie. Metallatome vermögen Hydrierungen, Dehydrierungen und Disproportionierungen¹ auszulösen. In manchen Fällen werden Grammengen von Metallderivaten in niedrigen Wertigkeitsstufen sowie reaktive Komplexe mit katalytischen Eigenschaften erhalten, die sich auf konventionelle Weise überhaupt nicht herstellen lassen. Diese vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten machen chemische Synthesen mit Metallatomen zu einem entwicklungsfähigen Arbeitsgebiet, dessen Nutzenanwendung freilich noch auf sich warten lassen wird.

1 Disproportionierung: Reaktion zwischen den Molekülen einer Verbindung mittlerer Oxydationsstufe, wobei ein Teil der Verbindung in eine höhere, ein anderer in eine niedrigere Oxydationsstufe übergeht.

Die Auslösung chemischer Reaktionen durch mechanische Energie (Mahlaggregate, Kugelmøhlen) wird demgegenüber schon seit etwa 20 Jahren systematisch behandelt, wobei das Prinzip sogar noch länger bekannt ist. Es besteht darin, daß sich die Reaktivität einer Festkörperphase bei mechanischer Bearbeitung oft um Größenordnungen erhöht. In der letzten Zeit konnten wesentliche allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Mechano- oder Tribochemie herausgearbeitet werden. Danach sind die tribochemischen Effekte unmittelbar von den mechanischen Parametern abhängig.

Anwendungen sind besonders aus der Sowjetunion bekannt geworden, z. B. bei der Produktion von Baustoffen, beim Aufschluß von Rohphosphaten und Bauxit sowie in der Kalkstickstoffsynthese. Auch die Erzeugung von Polymerschichten auf reibungsbeanspruchten Oberflächen wird günstig beurteilt. Trotzdem steckt die industrielle Verwertung mechanischer Effekte zum Auslösen chemischer Reaktionen noch in den Kinderschuhen. Der energetische Wirkungsgrad ist meist sehr gering, und auch die neuartigen Anforderungen an den Chemieanlagenbau bei der Herstellung großdimensionierter Apparate zur mechanochemischen Aktivierung dürfen nicht unterschätzt werden. Deshalb wird die Umsetzung der vorhandenen Grundlagenkenntnisse in die Praxis bis zur Jahrtausendwende im großen und ganzen wohl nur langsam voranschreiten.

Eine ganz andere Möglichkeit zur Anregung chemischer Reaktionen bietet die bislang noch recht zaghaft in Erscheinung tretende Arbeitsrichtung der Hochfeldchemie. Ausgangspunkt war die Beobachtung, daß unter dem Einfluß sehr starker elektrischer Felder neuartige chemische Reaktionen auftreten. Die Experimente werden in einer Vakuumkammer durchgeführt, in der ein elektrisches Feld mit einer Stärke von 10^7 bis $5 \cdot 10^8$ V/cm erzeugt wird. Bei diesen Feldstärken werden alle unter einem Druck von $1,33 \cdot 10^{-6}$ bar in den Reaktor eingebrachten organischen Substanzen im gasförmigen Zustand ionisiert. Dadurch sind chemische Folgereaktionen möglich, z. B. Polymerisationen, katalytische Oberflächenreaktionen sowie verschiedenartige Dissoziations- und Assoziationsprozesse.

Bisher konnten allerdings im Hochfeldreaktor nur minimale (unwägbar) Stoffmengen umgesetzt werden. Dennoch halten die Spezialisten eine spätere praktische Anwendung der bei solchen Reaktionen gewonnenen Erkenntnisse besonders in der heterogenen Katalyse für möglich. Tatsächlich sind aber die praktischen und theoretischen Auswirkungen der Hochfeldchemie vorläufig weder qualitativ noch quantitativ mit einiger Sicherheit zu beurteilen. Die nächsten Jahrzehnte werden zeigen, ob sich das neue Arbeitsgebiet als entdeckungsträchtiger Kontinent oder aber nur als eine kleine Insel im großen Ozean der wissenschaftlichen Erkenntnis entpuppen wird.

Hat die Elektrosynthese eine Zukunft?

Elektrochemie, so wird vielleicht mancher sagen, das ist zwar ein sehr passabler, aber im ganzen eben doch ein ziemlich alter Hut. Vor unserem geistigen Auge tauchen die imposanten Produktionsanlagen oder vielleicht auch bloß die mehr oder weniger trockenen Lehrbuchabschnitte der Chloralkalielektrolyse oder Aluminiumproduktion auf. Niemand wird bestreiten wollen, daß es sich dabei um äußerst zukunftssträchtige Produktionsbereiche der Chemieindustrie handelt.

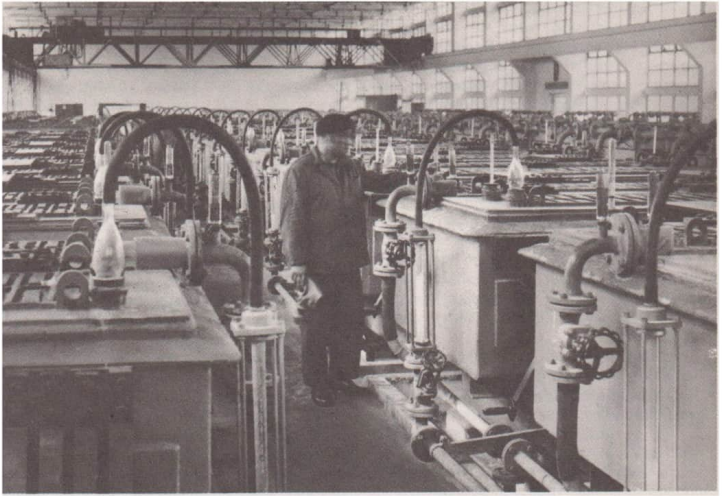
Ein Arbeitsgebiet, das zwar ebenso alt ist wie die klassische (anorganische) Elektrochemie, bisher aber nur in ganz wenigen Fabriken »in Betrieb« bewundert werden kann, ist die organische Elektrosynthese. Obwohl die Väter dieser Arbeitsrichtung die berühmten Namen Faraday und Kolbe tragen und schon seit den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts Patente dazu erteilt werden, gibt es auch heute noch Chemiebeflissene, die einigermaßen erstaunt darüber sind, daß man mit den weltweit als Nichtleiter anerkannten organischen Substanzen in Lösung elektrochemische Reaktionen durchführen kann. Das ist insofern entschuldbar, als das Gebiet etwa bis Mitte der 60er Jahre nichts wesentlich anderes zu bieten hatte als eine Schar bienenfleißiger Chemiker, die sich unverdrossen bemühte, dem scheinbar hoffnungslos verstimmten Instrument der Elektroorganik einige heller klingende Töne zu entlocken. Die waren dann

endlich – nach 130jähriger Arbeit – in der Mitte der 60er Jahre zu hören:

1964 großtechnische elektrochemische Synthese von Tetraalkylblei (Antiklopfmittel für Benzin) aus Alkylmagnesiumhalogeniden durch die US-amerikanische Nalco (Kapazität 18 000 t/Jahr), 1965 elektrochemische Synthese von Adipinsäurenitril aus Akrylnitril für Polyamidfasern (Nylon-6,6) durch die US-amerikanische Monsanto (Kapazität 20 000 t/Jahr). Wenig später schon ließen sich organische Fluorverbindungen industriell erzeugen sowie Zyanamid aus Blausäure und Ammoniak für die Melaminharzproduktion herstellen. Das reichte sogar für taube Ohren; und heute fragt man sich allorts interessiert, was wohl dran sein mag an dieser ominösen Elektroorganik.

Wir wissen, daß im Prinzip jede organische Substanz elektrochemisch oxidiert und reduziert werden kann. Dazu wird sie in einem geeigneten Lösungsmittel gelöst und mit einem sogenannten Leitsalz versetzt, dessen Ionen den Stromtransport in der Lösung vermitteln. Zwar fließt in einem mittleren Potentialgebiet kein Strom (d. h., die Verbindungen verhalten sich in diesem Bereich tatsächlich elektrochemisch inert), aber im höheren oder niedrigeren Potentialbereich kommt es doch zu Elektrodenreaktionen. Die dabei wahrscheinlich entstehenden Radikationen werden übrigens als die letzten noch unerforschten Zwischenprodukte der organischen Chemie bezeichnet.

Heute stellt sich die Elektroorganik als ein Gebiet dar, dessen reaktionstechnische Vielfalt schon bis ins Unübersichtliche hineinreicht. Fast alle Substanzklassen sind bearbeitet worden, wobei sich zeigte, daß jede einzelne Verbindung in Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen zu einer Reihe ganz verschiedener Reaktionen befähigt ist. Die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse in präparative oder gar technische Maßstäbe ging lange Zeit nur schleppend voran, weil damit viele technologische Probleme verbunden waren, die erst gelöst werden konnten, nachdem in den 50er Jahren die allgemeine verfahrenstechnische Entwicklung einen Vorsprung gewonnen hatte. Inzwischen sind die ersten elektrosynthetischen Prozesse in die großtechnische Praxis überführt worden. Eine



Die Chloralkalielektrolyse zur Produktion von Chlor und Natronlauge wird noch lange modern bleiben. Blick in den Bädersaal mit Elektrolysezellen.

größere Anzahl befindet sich in der halbttechnischen Erprobung. Dazu gehören bestimmte Reduktionen, die Oxydation von Kohlenwasserstoffen, die Gewinnung metallorganischer Verbindungen unter Beteiligung der Elektrodenmetalle, anodische Fluoridierungen, die Herstellung von Dimethylsebazat und Propylenoxid für die Plast- und Kunstfaserproduktion sowie elektrochemisch initiierte Polymerisationen. Letztere schließen die für den Korrosionsschutz interessante Möglichkeit ein, polymere Verbindungen direkt auf Metalloberflächen erzeugen zu können.

Die Gründe, weshalb man heute, nach einem Jahrzehnt beachtlicher Fortschritte, der organischen Elektrosynthese vielerorts eine große Zukunft voraussagt, sind recht handgreiflicher Art, denn Elektrodenpotential und Synthesestrom als prozeßbestimmende Parameter können leicht reguliert werden, so daß

die Verfahren ausgesprochen automatisierungsfreundlich sind. Die Reaktionen werden bei normalen Druck- und Temperaturbedingungen durchgeführt, wodurch Erleichterungen in der Prozeßführung auftreten und als Baumaterial Kunststoffe mitverwendet werden können. Viele Reaktionen sind ausgesprochen selektiv, und es gibt wenig Verfahrensstufen. Schließlich verlaufen die Elektrolysen mit einer hohen Energieausbeute. So ist die Elektrosynthese von Adipinsäure durch 98% Stromausbeute und einen energetischen Wirkungsgrad von 60% charakterisiert. Der Stromkostenanteil liegt bei 5% der Herstellungskosten. In der BRD ist berechnet worden, daß eine Umstellung der gesamten Synthesefaserproduktion des Jahres 1970 auf Nylon-6,6 über elektrolytisch erzeugtes Adipinsäurenitril nicht mehr als 1,4% des Gesamtstromverbrauchs der chemischen Industrie benötigt hätte.

Trotzdem muß bei vielen Prozessen das Verhältnis von Elektroenergieaufwand und Ausbeute erst noch günstiger gestaltet werden, bevor eine großtechnische Anwendung

möglich ist. Für den weiteren Ausbau dieser Entwicklungsrichtung wird es erforderlich sein, die elektrochemische Reaktionsfläche, etwa durch poröse oder disperse Elektrodensysteme mit katalytisch wirkender Oberfläche, noch wesentlich zu vergrößern und den Zellwiderstand zu verringern. Dazu könnte auch die Elektrotechnik beitragen, indem sie z.B. wirtschaftlich arbeitende Gleichrichter für niedrige Spannungen bereitstellt. Das Endziel sind kontinuierlich arbeitende Hochleistungselektrolysezellen mit einer hohen Raum-Zeit-Ausbeute, wobei zu beachten ist, daß der geringe spezifische Energieverbrauch der eigentlichen Elektrosynthese nicht durch aufwendige Vor- und Nachbereitungsoperationen wieder aufgefressen wird.

Zwar kann man heute noch nicht genau abschätzen, wie sich das Gleichgewicht der industriellen organischen Syntheseverfahren verschieben wird, aber ein weiteres Vordringen elektrosynthetischer Prozesse in der Großchemie ist nur eine Frage der Zeit. Unter diesem Gesichtspunkt beantwortet sich die eingangs gestellte Frage von selbst.

Eine chemische Säge

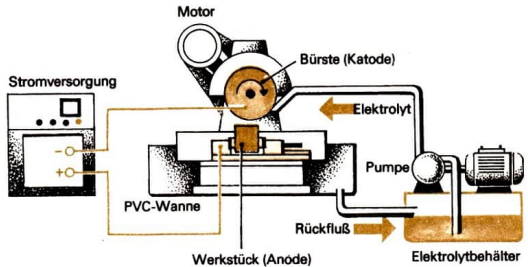
Sicherlich ist auch ein Prozeß wie die elektrolytische Kupferraffination, bei dem man unreines Kupfer, das in einem Gleichstromkreis als Anode geschaltet wird, in Lösung bringt und an der Katode in reinster Form wieder abscheidet, nicht gerade von sensationeller Neuheit. Trotzdem birgt das einfache Prinzip der anodischen Metallauflösung noch eine überraschende Fülle nutzbringender Anwendungsmöglichkeiten in sich. Die elektrochemische Metallbearbeitung (ECM) mit der Elektrode bietet ein Musterbeispiel dafür, wie mit vorhandenen, im Laufe von Jahrzehnten angehäuften Grundlagenkenntnissen hocheffektive technologische Lösungen realisiert werden können. Die Substitution solch klassischer Arbeitsgänge der Metallbearbeitung wie Schneiden, Drehen, Polieren, Schleifen usw. durch elektrochemische Prozesse kann nach sowjetischen Angaben die Arbeitsproduktivität um 300 bis 900% erhöhen! Nicht weniger als 50 bis 75% der Arbeitskräfte und

bis zu 98% der Aufwendungen für Werkzeuge können eingespart werden! 1969 betrug der Nutzen durch Anwendung derartiger »Elysiertechniken in der metallverarbeitenden Industrie der DDR bereits 20 Mill. Mark. Bis dahin war jedoch erst ein Bruchteil der potentiellen Einsatzmöglichkeiten des ECM-Prinzips ausgeschöpft.

ECM-Anlagen sind leicht automatisierbar und paßfähig für moderne Fließstrecken. Sie benötigen weder hohe Drücke und Temperaturen noch Werkzeuge aus Spezialstählen, und ganz nebenbei entfällt gegenüber der herkömmlichen Metallbearbeitung auch der mörderische Lärm. Trotzdem lassen sich besonders vorteilhaft superharte und schwer zerspanbare Werkstoffe wie Wolfram und Chrom-Nickel-Legierungen bearbeiten. Die Anwendung von Siliziumkarbid und Diamantschleifmitteln ist dabei viel zeit- und kostenaufwendiger. Deshalb entwickelte ein Kollektiv der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt eine neuartige Elysiertrennmaschine, die wie eine Säge arbeitet. Die Rolle des Sägeblatts übernimmt ein als Katode geschaltetes, ungezahntes, 0,6 mm dickes Metallband, das wie bei einer Bandsäge mit hoher Geschwindigkeit an dem als Anode fungierenden Werkstück vorbeiläuft. Als Elektrolyt dient bei normalen Stahlsorten eine Kochsalzlösung, die man im scharfen Strahl in den schmalen Arbeitsspalt zwischen beide Elektroden hineinsprüht, wodurch die an der Anode entstehende Passivschicht beseitigt und der elektrochemische Prozeß durch einen mechanischen Abtrag unterstützt wird. Das Ergebnis ist eine äußerst schnelle Trennwirkung auch beim härtesten Material. Die Schnittfuge ist nicht breiter als 1 mm.

Ein weiteres Resultat der Karl-Marx-Städter Wissenschaftler wurde im Januar 1973 der Öffentlichkeit vorgestellt. Es handelt sich dabei um eine Maschine, in der eine rotierende Stahlbürste, die als Katode geschaltet ist und kontinuierlich mit Elektrolytlösung versorgt wird, auf das anodisch angeschlossene Werkstück einwirkt. Mit dieser elektrochemischen Bürste kann man hocheffektiv Metalle entgraten. Ganz egal, ob Fein-, Grob-, Schmiedegrade oder Schweißnähte; die EC-Bürste schafft sie allesamt! Da sich die Bürstenform variieren läßt, ist es möglich,

Modernes Verfahren der Metallbearbeitung: Eine elektrochemische Bürste.



sogar kompliziert geformte Werkstücke zu bearbeiten. Außerdem ist das Verfahren auch generell zum Einebnen von Metalloberflächen sowie zum Schleifen, Polieren und Erodieren geeignet. Mit anderen Worten, das Ende von Dreikantschaber und Feile ist schon in Sicht!

Der mit der Metallbearbeitung weniger Vertraute kommt leicht in die Versuchung, den Kampf gegen die kleinen widerspenstigen Grate mit einer geringschätzigen Bemerkung abzutun. Er wird aber sehr schnell anders denken, wenn er erfährt, daß allein in der Industrie der DDR einige zehntausend Arbeitskräfte mehr oder weniger intensiv mit dem Entgraten von Werkstücken (einschließlich dem Entfernen von Schweißnähten, Putzen von Gußstücken und Einebnen von Metalloberflächen) zu tun haben! Die EC-Bürste läßt hier Steigerungen der Arbeitsproduktivität bis zu 3000% erwarten!

Natürlich wird die ECM auch in anderen Ländern vorangetrieben. In den neuesten Geräten versucht man mehrere Wirkprinzipien miteinander zu vereinigen. So wurden zum Trennen schwer spanbarer Werkstoffe Geräte entwickelt, die nach einem kombinierten Funkenerosions- und elektrochemischen Verfahren arbeiten. Große Abtragleistungen bei geringer Wärmeentwicklung und sehr kleine Schnittverluste sind für diese neuen Maschinen charakteristisch.

Die weitere Durchforschung des Arbeitsgebietes wird in Verbindung mit dem aufkommenden Breitereinsatz der elektrochemischen Bearbeitungsverfahren die Effektivität der Metallbearbeitung beträchtlich steigern helfen.

Elektrochemische Prozesse öffnen aber auch interessante Möglichkeiten der Energieerzeugung. In diesen Problemkreis fällt die Beantwortung der oft gestellten Frage:

Wie geht es weiter mit der Brennstoffzelle?

Wenn man aus Kohle, Erdgas, Benzin oder anderen geeigneten Energieträgern unmittelbar elektrische Energie erzeugen könnte, anstatt wie bisher die klassischen Umwandlungsstufen (chemische Energie der Brennstoffe → Wärmeenergie → Bewegungsenergie → Elektroenergie) zu durchlaufen, so wäre das offenbar sehr effektiv.

Elektrochemische Elemente, in denen die chemische Energie bestimmter Metalle direkt in elektrische Energie überführt wird, kennt heute in Gestalt von Taschenlampenbatterien und Akkumulatoren jedes Kind. Ihr Wirkungsgrad beträgt fast 100%. In ähnlicher Weise arbeiten auch Brennstoffelemente. Aber im Unterschied zu den herkömmlichen Batterien versucht man bei ihnen »gewöhnliche Brennstoffe« zu verwerten. Die Elektroden dienen meist zugleich auch als Katalysatoren, bleiben beim Betrieb unversehrt und begrenzen deshalb die Lebensdauer der Zelle nicht. Die Brennstoffe werden kontinuierlich zugeführt und sozusagen per Fernleitung an der Anode oxydiert, während die Reduktion des ebenso kontinuierlich zugegebenen Oxydationsmittels – wofür meist Sauerstoff eingesetzt wird – an der Katode erfolgt. Dadurch entsteht eine Spannungsdifferenz, mit deren Hilfe Arbeit

geleistet werden kann. Unter Laborbedingungen wurden mit derartigen Versuchsanordnungen bereits Wirkungsgrade von 80 bis 90 % erreicht!

In Abhängigkeit vom Arbeitsbereich unterscheidet man zwischen Niedertemperaturzellen (bis 150°C), Mitteltemperaturzellen (170–350°C) und Hochtemperaturzellen (500–1100°C) bei Drücken der Betriebsstoffe zwischen 1 und 100 bar. Als Elektrolyte kommen bei niederen Temperaturen saure und alkalische Flüssigkeiten oder Ionenaustauschermembranen, bei mittleren Temperaturen unter Druck stehende Flüssigkeiten oder Schmelzen bzw. Pasten, bei hohen Temperaturen Alkalikarbonatschmelzen oder ionenleitende Festkörper in Frage.

Da die unter Normalbedingungen meist sehr unbefriedigende Reaktionsgeschwindigkeit der Elektrodenoberfläche proportional ist, werden häufig poröse Elektroden auf Kohle- oder Sintermetallbasis eingesetzt, die man zur weiteren Aktivierung mit katalytisch wirkenden Edelmetallen, insbesondere mit Platin und Palladium, imprägniert. Trotzdem ist das Elektrodenproblem bisher eigentlich nur für die Wasserstoffoxydation einigermaßen gelöst, während die technisch interessanteren Gase (wie z. B. Kohlenmonoxid und Methan) oder gar fester Kohlenstoff die Anwendung hoher Temperaturen erfordern.

In den heute bereits arbeitenden Anlagen wird deshalb meist Wasserstoff verbrannt. Ihre breitere Anwendung setzt platinfreie Elektroden voraus, deren Herstellung bisher aber noch zu teuer ist. Die Zelle liefert Arbeitsspannungen bis zu 0,9 V. Das als Reaktionsprodukt entstehende Wasser ist trinkbar, so daß sich »Knallgasaggregate« als Energie- und Trinkwasserlieferanten für Raumschiffe und Unterseeboote anbieten.

Viele Untersuchungen wurden auch mit dem System Methanol-Sauerstoff bzw. Methanol-Luft angestellt. Die Reaktionshemmungen an der Methanolelektrode sind aber trotz Anwendung von Edelmetallkatalysatoren beträchtlich, so daß nur Zellspannungen um 0,5 V erreicht werden.

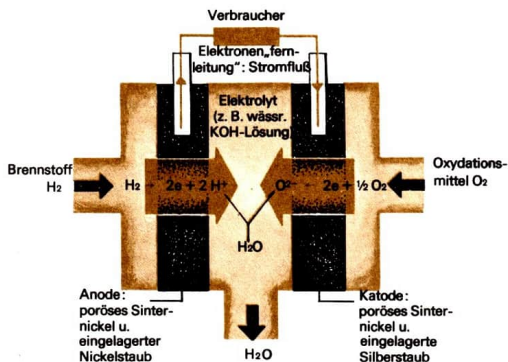
Für die Chemieindustrie ist die Natriumamalgamzelle interessant: Beim Herstellen von Chlor und Natronlauge durch Elektrolyse aus Natriumchlorid nach dem Quecksilberver-

fahren bildet sich eine Legierung, die Natrium und Quecksilber enthält (Natriumamalgam). Die Verarbeitung dieses Zwischenprodukts in einer schon bei niedriger Temperatur wirksamen Brennstoffzelle könnte helfen, bis zu 30 % der für die Elektrolyse benötigten Energie einzusparen. Da die Chloralkaliindustrie ein großer »Stromfresser« ist, wäre eine technologisch befriedigende Lösung dieses Prinzips recht bedeutungsvoll.

Beinahe ein Idealbrennstoff für elektrochemische Zellen ist trotz seiner Giftigkeit das flüssige Hydrazin. Man kann es als Wasserstoffquelle für eine Knallgaszelle nutzen oder an der Anode unmittelbar zu Wasser und Stickstoff oxydieren. Es ist wesentlich reaktionsfreudiger als Methanol, so daß sich die preisintensiven Edelmetalle als Elektrokatalysatoren erübrigen. Aber leider ist das Hydrazin auch sehr teuer. Allein um in die Nähe der Benzinpreise zu kommen, müßten die Hydrazinkosten um mehr als eine Zehnerpotenz gesenkt werden. Ob man das in den nächsten 25 Jahren wird erreichen können, erscheint fraglich.

Ein Kilowattstundenpreis in der Größenordnung von Pfennigen könnte wohl am ehesten mit den billigen und energiereichen Kohlenwasserstoffen herauskommen. Man denke nur an die rohstoffgünstige Kombination Erdgas-Luft! Aber leider sind diese Stoffe ziemlich reaktionsträge. Deshalb ist ein befriedigendes Arbeiten von Kohlenwasserstoffzellen nur beim Einsatz großer Mengen Edelmetallkatalysatoren oder bei höheren Temperaturen bzw. Betriebsdrücken zu erreichen. In Hochtemperaturzellen sind die Reaktionsgeschwindigkeiten auch ohne Katalysatoren groß genug. Die dabei als Elektrolyte verwendeten Alkalikarbonatschmelzen verursachen jedoch erhebliche Korrosionsprobleme. Mit Feststoffelektrolyten (z. B. auf Zirkonoxidbasis) können diese Schwierigkeiten zwar umgangen werden, dafür treten Spannungsverluste auf, die den Wirkungsgrad bislang auf etwa 40 % begrenzen. Aus der gegenwärtigen Sicht wird deshalb eine Abspaltung von Wasserstoff und dessen Weiterverarbeitung in einer Knallgaszelle als die aussichtsreichere Variante der Kohlenwasserstoffnutzung angesehen.

Die elektrochemische Oxydation der festen



Prinzipschema einer Knallgas-Brennstoffzelle. Der Brennstoff wird an der Anode unter Abgabe von Elektronen oxidiert. Das Oxydationsmittel nimmt an der Katode Elektronen auf und wird dadurch reduziert. Zwischen Anode und Katode bildet sich eine elektrische Spannungsdifferenz aus. Während der Reaktion fließen im äußeren Stromkreis Elektronen von der Anode zur Katode. Die Arbeitsspannungen liegen zwischen 0,7 und 0,9 V. Chemische Gesamtreaktion: $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$.

Kohle mit Sauerstoff ergibt erst bei Temperaturen um 1000°C eine Leerlaufspannung von rund 1 V. Aber die gewonnene Energie reicht nicht einmal aus, um die Betriebstemperatur halten zu können. Außerdem treten zahlreiche technologische Schwierigkeiten auf. Eine befriedigende technische Lösung der elektrochemischen Oxydation von Kohle oder von reinem Kohlenstoff ist deshalb noch nicht abzusehen. Sie wird von manchen Autoren sogar grundsätzlich bezweifelt.

In den »Redoxzellen« versucht man geschlossene Stoff- und Energiekreisläufe zu realisieren, indem die im Brennstoffelement entstandenen Reaktionsprodukte durch eine »normale« chemische Reaktion wieder in den Ausgangszustand zurückgeführt werden.

Eine ganz andere Entwicklungsvariante der Brennstoffzellen ist für die Medizin interessant. Die Energieversorgung von Herzschrittmachern ist nämlich mit körperfremden

elektronischen oder elektrochemischen Stromquellen nach wie vor sehr kompliziert. Jetzt aber sind Möglichkeiten gefunden worden, um mit Hilfe biogalvanischer Brennstoffzellen direkt im Organismus Strom zu erzeugen. Die Reaktionspartner (Glukose und Sauerstoff) werden dabei unmittelbar den Körperflüssigkeiten entnommen. Als Elektroden dienen Magnesium und feinstverteiltes Platin. Die Zelle wird direkt im Muskel implantiert. Deshalb steigt ihre Leistung mit der Muskeltätigkeit und der Durchblutungsintensität, also gerade so, wie es für die Anregung der Herzstätigkeit erwünscht ist. Die Lebensdauer einer solchen Zelle wird auf 6 bis 16 Jahre geschätzt.

Die ersten technischen Anwendungen von Brennstoffzellen liegen dort, wo kleine Leistungen (etwa um 100 W) über eine längere Zeit wartungsfrei benötigt werden und eine Versorgung aus dem öffentlichen Energienetz unmöglich oder ökonomisch zu aufwendig ist. Solche Einsatzgebiete sind z. B. Fernsehumschalter, Weidezäunanlagen, meteorologische Stationen, Relaiszentralen und andere Signalstationen sowie die Raumfahrt- und Raketentechnik.

Schon aber ist man dabei, sie auch für den Antrieb von Straßenfahrzeugen zu erproben. Abgesehen von energetischen Vorteilen und geringeren Fahrgeräuschen besitzt eine solche Lösung vor allem deswegen Interesse,

Katode/Anode/Elektrolyt

Na/S-Na₂Sx/Glas, Keramik

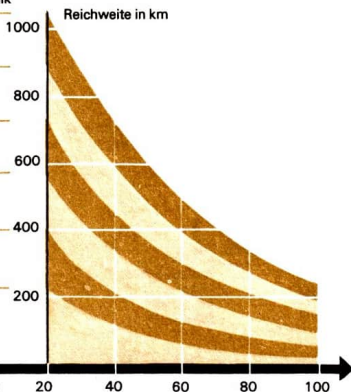
Li-Al/FeS₂/LiCl-KCl

Zn/Cl₂/ZnCl₂

Zn/NiOOH/KOH

Pb/PbO₂/H₂SO₄
(verbessert)

Pb/PbO₂/H₂SO₄
(konventionell)



Neue Batterien erhöhen die Reichweite und Geschwindigkeit von Kraftfahrzeugen. Zu den herkömmlichen Bleiakkus (deren Energiespeicherkapazität man von derzeit 30 Wh/kg auf etwa 50 Wh/kg um 1980 erhöhen will) sind neue Batterietypen hinzugekommen, die (wie die Natrium- bzw. Lithium-Schwefel-Systeme) bei Arbeitstemperaturen zwischen 300 und 500 °C mehr als 180 Wh/kg erreichen. Ihre Lebensdauer muß jedoch von derzeit 200 auf mindestens 1000 Ladezyklen gesteigert werden, bevor man Mitte der 80er Jahre an eine technische Nutzung denken kann.

weil Brennstoffelemente keinerlei giftige Gase abgeben.

Aus 1 kg Wasserstoff kann in einer Knallgaszelle mehr als 10mal soviel Energie gewonnen werden wie beim Verbrennen von 1 kg Benzin im Ottomotor. Wasserstoff dürfte also nicht mehr als 10mal so teuer sein wie Benzin, um als Kraftstoff konkurrieren zu können. Diese Bedingung wird in einigen Ländern bereits erfüllt. Aber der Umgang mit dem schwierig zu verflüssigenden und bisher (trotz origineller Vorschläge zur Wasserstoffspeicherung mit geeigneten Metallhydriden) nur in mehr oder weniger voluminösen und schwergewichtigen Druckbehältern zu handhabenden Wasserstoff ist recht problematisch. Es wäre deshalb ohne Zweifel angenehmer, wenn man auch bei einem Brennstoffzellenantrieb flüssige Kraftstoffe tanken könnte. Dafür kämen z.B. Methanol- oder Hydrazinzellen in Frage, deren Leistung (wie auch die der Knallgaszelle) pro Masseneinheit wesentlich günstiger als beim Bleiakkumulator ist. Aber vorläufig bereiten hier Kostenfragen und technische Lösung noch große Sorgen. Außerdem steht einer breiten Anwendung von Brennstoffzellen im Kraftfahrzeugbau noch das im Vergleich zum konventionellen Antrieb sehr hohe Gewicht im

Wege. So hätte beispielsweise ein Brennstoffzellenaggregat für den PKW »Trabant« bei einer mit dem herkömmlichen Zweitaktmotor vergleichbaren Leistung etwa dieselbe Masse wie das Fahrzeug selbst. Trotzdem rechnet man international damit, daß etwa ab 1980 mit Brennstoffzellen ausgerüstete Elektrokarren und Gabelstapler im Verkehr sein werden.

Für den Chemiker sind die elektrochemischen Energiequellen nicht nur wegen der energieliefernden Prozesse interessant, sondern auch deshalb, weil in den Brennstoffelementen Gleichstrom mit einer Spannung von ungefähr 1 V pro Zelle entsteht. Aus diesem Grunde ließe sich das Brennstoffelement sehr einfach für die jedes Jahr Milliarden von Kilowattstunden verschlingende chemische Elektrolyse nutzen. Die Auffassung, daß auf diesem Gebiet die erste großtechnische Anwendung der neuen Energiequellen liegen könnte, hat deshalb manches für sich.

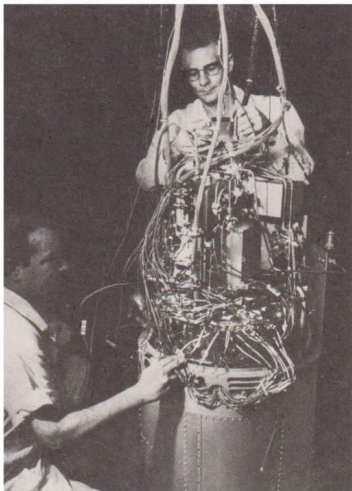
Hochtemperaturbrennstoffzellen, die in ihrer Effektivität heute schon mit dem Dieselmotor vergleichbar sind, könnte man auf Baustellen zur wartungsfreien (keine bewegten Teile!) und geräuschlosen Stromerzeugung verwenden. Einige Autoren prophezeien für die Zeit nach 1990 sogar eine Anwendung von Brennstoffzellen für die

Energieversorgung (Heizwärme plus Elektrizität) ganzer Wohnblocks. Da man die Aggregate unmittelbar beim Verbraucher aufstellen kann, wäre das besonders für Länder mit wenig entwickelten Energieversorgungsnetzen von Interesse. In den fortgeschrittenen Industriestaaten könnte das Eingliedern der Brennstoffelemente in ein Verbundnetz zur Spitzendeckung oder als Reserveaggregat für Notfälle wichtig werden. So wäre es denkbar, daß in der Zukunft kombinierte Elektrochemie-Kernkraftwerke auch extremen Belastungen standhalten können, indem das Kraftwerk bei geringem Energiebedarf der Verbraucher durch Elektrolyse Wasserstoff erzeugt. Diesen würde man speichern und in Spitzenbelastungszeiten den »parallel« installierten Brennstoffzellen zuführen. Auch kombinierte Systeme mit Wärmekraftwerken sind möglich. Durch Kopplung einer bei 500 bis 600 °C arbeitenden Brennstoffzellenbatterie mit einem Dampfkreislauf wären voraussichtlich Gesamtwirkungsgrade um 65% zu erreichen.

Wenn man einen Atomreaktor im Wasser schwimmen ließe, könnte die frei werdende Energie an Ort und Stelle zur Wasserelektrolyse verwendet werden. Den entstehenden Wasserstoff würde man zu Verteilerstationen und von dort zu den Verbrauchern, Fabriken und Haushalten, leiten, wo er in Brennstoffzellen wieder in Elektrizität verwandelt werden müßte. Dabei entstünde Wasser, das bei dem stark ansteigenden Energieverbrauch vielleicht sogar den Trinkwasserbedarf decken könnte. Leider ist die Stromausbeute bei der Wasserelektrolyse nur 50 bis 60%. Aber vielleicht wird die Wasserzerlegung im Rahmen chemischer Kreisprozesse in der Zukunft eine Alternative bilden. Vorläufig liegen jedoch die erhofften Ergebnisse noch nicht vor.

Für die DDR und einige andere Länder ist es von Bedeutung, daß man bei der Energieerzeugung mit Brennstoffzellen die in konventionellen Batterien und Akkumulatoren benötigten Importrohstoffe (z.B. Blei und Braunstein) durch billigere, im eigenen Land vorhandene Materialien (wie Luftsauerstoff, Methanol, Kohle usw.) ersetzen kann.

Aus technologischen Gründen vorläufig nur fernprognostisch interessant ist schließlich folgende Anwendung des Brennstoffzellen-



Brennstoffzellen für die Zwecke der Raumfahrttechnik sind bereits weit entwickelt. Hier eine Brennstoffzellenanlage der Apollo-Raumschiffserie.

prinzips: Wenn man für industriell genutzte, freiwillig ablaufende Redoxprozesse (z.B. Salz- oder Schwefelsäureherstellung) eine elektrochemische Reaktionsführung realisieren würde, dann ließen sich große Mengen elektrischer Energie sozusagen als Nebenprodukt anstelle von Wärme erzeugen. Allein in der DDR könnten damit wohl einige Milliarden Kilowattstunden Elektroenergie gewonnen werden!

Der wiederholte Einsatz von Brennstoffzellen in Raumflugkörpern zeigt, daß in bezug auf Betriebssicherheit und allgemeine technische Reife bei einigen Zelltypen schon ein sehr hohes Niveau erreicht wurde. Die Tatsache, daß demgegenüber die Anwendung in anderen Bereichen der Technik kaum über das Versuchsstadium hinausgekommen ist, hängt mit der unbefriedigenden Ökonomie zusammen. Noch immer sind die bei niedrigen

Temperaturen ausreichend aktiven Brennstoffe zu teuer, die Katalysatorkosten und der Aufwand an Regel- und Apparatechnik zu hoch sowie die Lebensdauer der Zellen zu gering.

An der Lösung aller dieser Fragen wird intensiv gearbeitet, so daß zumindest für spezielle Anwendungen eine optimistische Einschätzung gerechtfertigt scheint. Ob jedoch die breitere Nutzung elektrochemischer Energiequellen schon Anfang der 80er Jahre zu erwarten sein wird, mag die Zukunft entscheiden. Die Entwicklung billiger Katalysatoren könnte dabei – wie übrigens auch bei vielen anderen chemischen Verfahren – durchaus eine entscheidende Rolle spielen, denn

Die Katalysatorchemie ist noch lange nicht am Ende!

Jeder Chemielehrling kennt das potentiell hochreaktive Gasgemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff. Laut Reaktionsgleichung ($2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$) muß Wasser entstehen, zumal auch das Gleichgewicht eindeutig auf der Seite des Wassers liegt und obendrein Wärme frei wird. Aber ohne die Zündung mit einer Flamme verläuft die Reaktion in einem wahren Schneckentempo, und man kann das Gemisch monatelang aufbewahren, ohne daß auch nur ein Tröpfchen Reaktionswasser auftritt. Es ist wie bei einem Skiläufer, der sich erst mit einem Skilift den Berg hinaufziehen lassen muß, bevor er seine Talfahrt beginnen kann. Auch der »Knallgasberg« kann offenbar nur durch Energiezufuhr (Wärme, Licht) überwunden werden. Aber die gleiche Wirkung hat auch ein geeigneter Katalysator. Er verringert die notwendige Aktivierungsenergie, indem er den Energieberg »kleiner« macht. Es liegt auf der Hand, daß dieser Vorgang, den die Chemiker seit Berzelius (1835) Katalyse nennen, von höchster Bedeutung ist.

Bei den in der Industrie durchgeführten Reaktionen handelt es sich meist um Prozesse in gasförmiger Phase an festen Katalysatoren (heterogene Katalyse). Demgegenüber haben bei der homogenen Katalyse die Katalysatoren denselben Aggregatzustand wie die Stoffe, deren Reaktion sie beeinflussen sollen

(wobei in praxi nur der flüssige Zustand in Frage kommt). Über 80% aller technischen Verfahren arbeiten heute mit Hilfe heterogener Katalyseprozesse, und nicht weniger als 20% aller Industrieprodukte werden auf katalytischem Wege hergestellt. In der DDR setzt man für industrielle Zwecke gegenwärtig etwa 65 verschiedene Katalysatoren ein.

Zu den ersten großtechnisch praktizierten Katalysen gehörte die Ammoniaksynthese, die in Leuna schon seit über 50 Jahren mit einem aus feinverteiltem Eisen bestehenden Katalysator, der auf Aluminiumoxid mit Kaliumoxidzusätzen niedergeschlagen worden ist, betrieben wird. Mit diesem Katalysator, der nach 20 000 (!) Einzelversuchen aufgefunden wurde, kann die Reaktion bei 500°C durchgeführt werden. Natürlich wäre die Entdeckung eines Katalysators, der die NH_3 -Synthese bei noch niedrigerer Temperatur ermöglichen würde, äußerst wünschenswert. Aber leider wurde ein solches Zaubermittel bis jetzt noch nicht gefunden. Trotzdem war die Katalysatorforschung bis in die letzten Jahre hinein sehr erfolgreich. So gelang 1972 die Herstellung von hochdichtem Polyäthylen in der Gasphase bei etwa 20 bar und 90°C mit chromhaltigen Katalysatoren, die so aktiv sind, daß die in winzigsten Mengen angewandten Stoffe im Endprodukt verbleiben können. Auch das Flüssigverfahren wurde durch hochaktive Katalysatoren auf Trägersubstanzen soweit verbessert, daß die Katalysatoren aus den Polymeren nicht mehr ausgewaschen werden müssen. Neue sowie alte Katalysatoren ermöglichen die Methanolsynthese bei nur 50 bar und 260 bis 290°C! Akrylnitril mußte bis vor einiger Zeit mühevoll über mehrere Stufen gewonnen werden. Dann wurde entdeckt, daß es aus Propylen, Ammoniak und Sauerstoff bei Anwendung eines Wismut-Molybdat-Katalysators mit Ausbeuten um 70% herzustellen ist, und neuerdings hat sich gezeigt, daß ein Katalysator auf Uran-Antimon-Basis sogar 90prozentige Ausbeuten ergibt.

Schon seit 1938 werden in Bitterfeld Kunstharzionaustauscher (Wofatite) als Katalysatoren für säure- und basenkatalysierte Reaktionen (z.B. bei Veresterungen und Epoxidharzbildungen) eingesetzt, wenngleich sie keine hohen Temperaturen vertragen. Neue

Wofatite mit Poren von einigen 10 μm Durchmesser ermöglichen eine Erweiterung ihres Anwendungsbereiches auf unpolare und wasserfreie Medien. Die Entwicklung geht von unspezifischen Universalkatalysatoren zu maßgeschneiderten Spezialharzen, die nur für bestimmte Einsatzgebiete anwendbar sind.

In der UdSSR wurden Membrankatalysatoren (z.B. zum Hydrieren und Dehydrieren) entdeckt, die für eine der bei der Reaktion gebildeten Komponenten durchlässig sind. Die hindurchgehende Komponente kann deshalb für eine zweite Reaktion in derselben Apparatur genutzt werden.

Eine hervorragende Rolle spielen heute auch die metallorganischen Katalysatoren. Ihre Entwicklung begann 1953, als Karl Ziegler in Mühlheim durch einen glücklichen Zufall die bis dahin nur zwischen 1000 und 2000 bar sowie Temperaturen um 200 °C mögliche Äthylenpolymerisation bei Zimmertemperatur in Gegenwart von Aluminiumtriäthyl und Titanetetrachlorid entdeckte. In der Folgezeit gab es eine stürmische Entwicklung, ohne daß die katalytische Wirkungsweise dieser eigenartigen Stoffe völlig aufgeklärt werden konnte. Nichtsdestoweniger werden Zieglerkatalysatoren heute mit bestem Erfolg für die wichtigen Polymerisationsreaktionen der Olefine und Diolefine eingesetzt. Die Entdeckung von Natta, daß Verbindungen dieses Typs auch struktur- und stereospezifische Polymerisationen auslösen können, war u.a. der Ausgangspunkt für die Synthese hochwertiger neuer Kautschuksorten, z.B. für die seit 1963 (USA) betriebene großtechnische Isoprensynthese. Außerdem wurden metallorganische Mischkatalysatoren für die Herstellung ungesättigter Ringverbindungen entwickelt, aus denen sich neuartige Nylontypen gewinnen lassen.

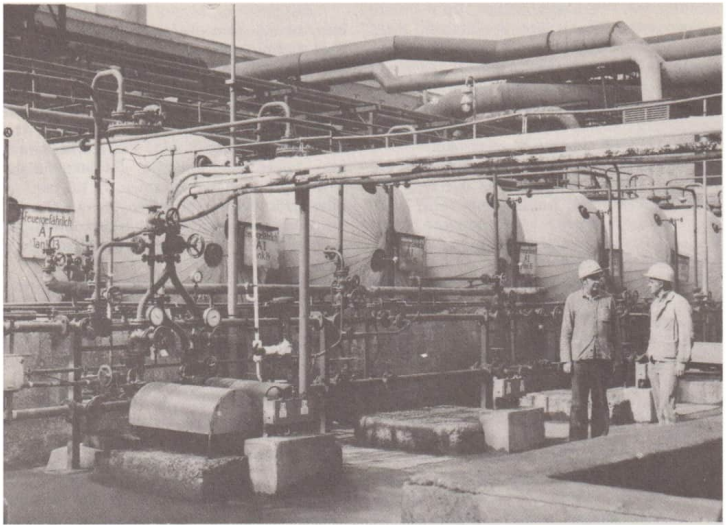
Nur am Rande sei erwähnt, daß metallorganische Verbindungen, insbesondere mit Aluminium, auch als vielseitig verwendbare Zwischenprodukte für die Herstellung von Pflanzen- und Schädlingsbekämpfungsmitteln sowie Farbstoffen und Pharmazeutika eingesetzt werden. Gemische aus 20% Aluminiumtrimethyl bzw. -triäthyl mit 80% Petroleum oder auch mit flüssigem Propylen sind als Treibstoffe für Raketen und Düsenflugzeuge von Interesse.

Katalytisch wirkende Elemente kommen beinahe aus dem gesamten Periodensystem, aber Platinmetalle spielen doch nach wie vor die größte Rolle. Neuerdings scheint allerdings auch eine »Ära« der Seltenen Erden angebrochen zu sein, die oft hervorragende katalytische Eigenschaften besitzen. Aber auch der Trägerstoff wird jetzt stärker beachtet. Künstliche Zeolithe (Molekularsiebe) sowie porenreiche keramische Körper, die gute Strömungsverhältnisse, kleines Gewicht und mechanische Stabilität in sich vereinigen, scheinen hier besonders aussichtsreich zu sein.

Da sich heterogene Katalysen an der Katalysatoroberfläche abspielen, ist man grundsätzlich bemüht, Produkte mit einer großen Oberfläche herzustellen, weil damit die Anzahl der »aktiven Zentren« ansteigt. Die Oberflächen der am häufigsten in der Technik angewandten Katalysatoren liegen um 150 m^2/g . Manche Katalysatoren auf der Basis von Aktivkohle oder Molekularsieben haben sogar spezifische Oberflächen um 1000 m^2/g .

Durch den Einsatz neuer oder verbesserter Katalysatoren lassen sich in vorhandenen Anlagen hohe Rationalisierungseffekte erzielen, weil dabei kaum zusätzliche Investitionen erforderlich sind. So führte die ständige Verbesserung des Reformingkontakts in der DDR seit 1955 zu einer Kapazitätssteigerung der Anlagen auf mehr als das Doppelte. Eine 1974 eingeführte Entwicklung erlaubte trotz eines um 25% geringeren Katalysatoreinsatzes, die Anlagenkapazität um 15% zu steigern. Die Auffassung mancher Wissenschaftler, daß die Blütezeit der heterogenen Katalyse vorbei sei, mag deshalb noch ein bißchen voreilig anmuten.

Demgegenüber werden in der koordinationschemischen Katalyse von allen Fachleuten noch wesentliche Fortschritte erwartet. Auf diesem Teilgebiet der homogenen Katalyse arbeitet man mit Komplexkatalysatoren. Es ist eine der modernsten Arbeitsrichtungen der Katalyseforschung, obwohl die erste koordinative Katalyse (katalytische Wasserstoffperoxidzersetzung) schon 1912 aufgeklärt worden ist. Die durch einen Kobaltkomplex katalysierte Hydroformylierung zur Herstellung von Ausgangsstoffen für Kunststoffweichmacher, Lösungs- und Waschmittel



Teilansicht einer gemeinsam von der DDR und UdSSR entwickelten Anlage zur Durchführung von Oxosynthesen (Anlagerung von Kohlenmonoxid und Wasserstoff an ungesättigte Kohlenwasserstoffe in Gegenwart von Katalysatoren) bei Drücken bis 300 bar und Temperaturen bis 200 °C. Die primär entstehenden Aldehyde können in vielfältiger Weise zu einer großen Zahl technisch wichtiger Stoffe (Beispiel: Fettalkoholsulfonate für Waschmittel) weiterverarbeitet werden.

war in den 40er Jahren die erste industriell genutzte Reaktion dieser Art. Heute arbeitet man z. B. an der koordinationskatalytischen Herstellung von cis-Polybutadien, aus dem dauerhafte Gummisorten mit großer Elastizität zu gewinnen sind. Auch hofft man die Ammoniakherzeugung mit Hilfe von Komplexkatalysatoren eines Tages bei Normaltemperatur durchführen zu können.

Trotz aller Fortschritte sind die bis jetzt entwickelten Katalysatoren den in der Natur vorkommenden Biokatalysatoren (den Fermenten oder Enzymen) in bezug auf die Aktivi-

tät noch immer um den Faktor 10^3 bis 10^{12} und in bezug auf die Selektivität um den Faktor 10^2 unterlegen. Diese Parameter müssen also bei den technischen Produkten noch entscheidend verbessert werden.

Bei der Suche nach neuen Katalysatoren gibt es jedoch bis heute nur sehr wenige Anhaltspunkte, denn die Theorie hat gegenüber der Praxis einen Rückstand. Meist werden die zur Komposition des Katalysators in Frage kommenden Elemente unter Verwendung empirischer Regeln einfach systematisch durchgetestet. Von vielen Katalysatoren wissen wir eigentlich nur, daß sie funktionieren, aber leider nicht wie und warum! Dabei ist das experimentelle Material über die Beziehungen zwischen Katalyseaktivität und chemischer Zusammensetzung sowie Mikrostruktur heute schon fast unübersehbar. Eine der wichtigsten Zielstellungen für die Zukunft muß deshalb die Erarbeitung von Grundsätzen für eine Vorhersage der katalytischen Wirksamkeit sein, um die Zahl der Versuche und damit den Aufwand verringern zu können.

Es scheint aber, als ob eine befriedigende Vorausberechnung der Katalysatorwirksamkeit in absehbarer Zeit noch nicht möglich sein wird.

Der Katalyseforschung widmet man in allen Chemieländern große Aufmerksamkeit. Weltweit sind etwa 50 000 Wissenschaftler mit dieser Aufgabe beschäftigt. Die Forschungskosten werden auf 20% des Gesamtwerts der Katalysatorproduktion geschätzt. In der DDR ist die Entwicklung und Produktion von Technikkatalysatoren im Leunawerk konzentriert. Anfang der 70er Jahre umfaßte das Lieferprogramm zirka 50 Produkte, wovon etwa 30% weniger als 5 Jahre alt waren. In den Jahren von 1971 bis 1975 wurden über 20 neue und weiterentwickelte Katalysatoren für verschiedene Anwendungsgebiete in die Produktion überführt. Die Leunawerker arbeiten eng mit dem 1971 gegründeten »Internationalen Koordinationszentrum der RGW-Länder für industrielle Katalysatoren« in Nowosibirsk zusammen. Es erfaßt und verallgemeinert alle zugänglichen Informationen mit dem Ziel, einen gemeinsamen Katalysatorkatalog zusammenzustellen und der Forschung neue Impulse zu geben. Die Katalyse hat demnach keinesfalls schon ihre Blütezeit überschritten. Viel eher steht sie erst am Anfang ihres Wegs, denn ohne Zweifel kann man sie auch heute noch als die Zukunft der technischen Chemie bezeichnen!

Aber die Chemiker bringen der Menschheit nicht nur über den Umweg der Technik einen Nutzen.

Die Chemie rationalisiert sogar den Haushalt!

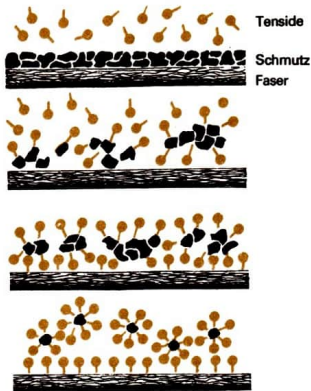
Zwar finden sich selbst unter den Männern nicht selten Vertreter, denen das Hantieren mit Bratpfanne und Suppenlöffel Freude macht, aber daß jemand am Saubermachen oder Wäschewaschen viel Spaß gefunden hätte, davon hat wohl noch niemand gehört. Gerade das jedoch macht nicht nur den unangenehmsten, sondern auch den größten Teil der Hausarbeit aus. Tag für Tag in Mini und jede Woche in Maxi führen wir einen verzweifelten Kampf gegen den Schmutz, in dem wir doch immer wieder die Verlierer sind. Aber während sich die Öffentlichkeit in breiten Diskussionen über

die Last der Hausarbeit erging, kam abseits von den Hauptstraßen der Chemie eine lange Zeit nur stockend wachsende Pflanze zur Blüte. Das war die moderne Waschmittelchemie, die in Verbindung mit hochwertigen Wasch- und Spülautomaten die Menschen in einem Maße von der Hausarbeit entlastet wie kaum eine andere wissenschaftliche Disziplin.

Mit der guten alten Seife allein stünden unsere Frauen heute noch am Waschtrog. Deshalb waren die Chemiker schon rechtzeitig auf Ausschau nach neuen Produkten gegen-

Tabelle 7. Zusammensetzung eines modernen Vollwaschmittels

Komponente	Anteil in %	Wirkung
Tenside	10–15	Benetzung der Fasern, Zerteilen des Schmutzes
Seife	0–10	Schaumregulierung
Polyphosphate	20–50	binden die Härtebildner des Wassers, verstärken die Wirkung der Tenside
Natriumperborat	10–30	Bleichmittel oberhalb 80 °C
Natriumkarbonate und -silikate	5–10	Alkalipuffer, Korrosionsbremsen
Karboxymethylzellulose	0,5–2	verhindert die Wiederablagerung des emulgierten Schmutzes
Neutralsalze	5–20	Rieselfähigkeit
Parfümöle	0–0,5	Geruchsbeeinflussung
Stilben- und Pyrazolderivate	0,1–0,3	optische Aufheller
Wasser	3–12	
Enzyme, Farbstoffe, antimikrobielle Mittel	von Fall zu Fall, in sehr kleinen Mengen	verschiedene



vordringende Tenside
u. zusammenhängende
fettige Schmutzschicht

Tensidmoleküle lagern
sich mit ihren fettfreundl.
Kohlenwasserstoffresten
an die Schmutzschicht
an u. brechen sie auf

verstärkte Tensid-
absorption u. gegenseitige
Abstoßung d. Schmutz-
teilchen

Stabilisierung d.
abgelösten Schmutz-
teilchen, gegenseitige
Abstoßung, Abspülen
durch Waschflüssigkeit

So wirken die waschaktiven
Substanzen. (Kugelig dar-
gestellte Endungen der
Tensidmoleküle sind nega-
tiv). Der Schmutzvertei-
lungseffekt kann dabei
durch Polyphosphate noch
wesentlich verstärkt wer-
den.

gen. Diese wurden gefunden in den Fettalkoholsulfaten (Fewa, 1930) und den Alkylbenzolsulfonaten, die in Deutschland während des zweiten Weltkrieges in Gebrauch kamen. Die heutigen Waschmittel sind Stoffgemische aus Tensiden, Komplexbildnern, optischen Aufhellern, Bleichsubstanzen und verschiedenen Hilfsmitteln. Seife ist nur noch in geringer Menge als »Schaumbremse« enthalten. Auch die Tenside bilden mengenmäßig keine Hauptbestandteile, aber für den Waschprozeß sind sie von ausschlaggebender Bedeutung. Sie erniedrigen die Grenzflächenspannung des Wassers, machen damit die Textilien besser benetzbar und erhöhen die Emulgierbarkeit der Schmutzstoffe.

Alle Tensidmoleküle bestehen aus einem hydrophoben und einem hydrophilen Teil. Nach der Ladung des wirksamen Molekülteils unterscheidet man anionische (z. B. Karboxylate, Sulfate und Sulfonate), kationische (meist hochmolekulare stickstoffhaltige Verbindungen) und nichtionische Tenside (meist Äthylenoxidaddukte). Die Modifizierung der Bauteile, z. B. durch eine unterschiedliche Anordnung der polaren Gruppen oder durch eine Variation der Kettenlänge, führt zur Vielzahl der im internationalen Handel befindlichen Produkte.

Die meistverwendeten Tenside sind an-

ionenaktiv. Sie umgeben das fettige Schmutzpartikel mit einer Art Palisade, wobei die negativen Enden der Moleküle nach außen weisen. Die so gebildeten Mizellen stoßen sich ab und werden dadurch in der Waschflüssigkeit verteilt. Als eines der ersten Anionentenside wurde das Tetrapropylbenzolsulfonat hergestellt. Mängel im biologischen Abbauverhalten dieser Substanz führten in den 60er Jahren zum kettenförmig aufgebauten Alkylbenzolsulfonat, wobei Moleküle mit 10 bis 14 Kohlenstoffatomen die günstigsten Eigenschaften aufwiesen. Aus diesem Grund sind derartige Stoffe heute in allen bekannten Waschpulvern enthalten. Auch in der Zukunft werden die Anionentenside in Reinigungsmitteln für Haushalt und Industrie das Übergewicht behalten. Dabei kann mit der Entwicklung von neuen Typen gerechnet werden, z. B. solchen mit endständig blockierten Fettalkoholäthylaten. Vielleicht könnten sie die Vorläufer einer Waschmittelgeneration mit Builder-(Verstärker-)eigenschaften werden. Wenn es gelingen sollte, die Herstellung der leicht abbaubaren und wenig giftigen Alphaolefinsulfonate ebenso wie der stark oberflächenaktiven Fluortenside sowie der Tenside mit Siliziumatomen im hydrophoben Rest kostengünstiger zu gestalten, dann könnten

auch diese Stoffe eine stärkere Verbreitung finden.

Kationentenside sind nur von untergeordneter Bedeutung. Man verwendet sie als Wäscheweichmacher.

Von den nichtionischen Tensiden werden zur Textilreinigung fast ausschließlich Anlagerungsprodukte aus Äthylenoxid und Fettalkoholen, -säuren, -amiden und Alkylphenolen benutzt. Sie haben eine größere Vielfalt als die Anionentenside (besonders weil die Variabilität der hydrophoben Komponente sehr groß ist). Ausgesprochen wohlfeile Produkte sind die Nonylphenoloxäthylate, aber sie werden leider nicht genügend abgebaut. Deshalb verwendet man vorwiegend Fettalkoholoxäthylate. Das stetige Wachstum der letzten Jahre wird bei den nichtionischen Tensiden allein schon deswegen anhalten, weil sie umweltfreundlich und hartwasserbeständig sind.

Als Außenstehender könnte man meinen, daß waschaktive Tenside sehr leicht maßgeschneidert werden können. Tatsache ist aber, daß unsere Kenntnisse vorläufig nicht ausreichen, um ein Optimalprodukt zu synthetisieren. Deshalb wird es auch in den nächsten Jahren nicht ohne Empirie und Reihenversuche gehen.

Die Waschmittel der Gegenwart enthalten 30 bis 50% Pentanatriumdi- und -triphosphat (z. B. $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) und manchmal auch hochpolymere Phosphate. Diese vermögen in wäßriger Lösung 2- und 3wertige Metallionen so fest zu binden, daß sie die ehemals so lästige Bildung von Kalkseifen (Grauwerden der Wäsche, Schmutzränder in der Badewanne!) und anderer schwerlöslicher Verbindungen verhindern. Damit entfällt das früher übliche Einweichen der Wäsche. Darüber hinaus werden die negativen Polyphosphatmoleküle beim Waschen an der Faser adsorbiert. Sie stoßen die Schmutzmitzellen von der Faser ab und sorgen für eine gute Verteilung in der Waschlauge. Aber leider verursacht das Pentanatriumphosphat Abwasserprobleme, weil seine Hydrolysenprodukte zu einer unerwünschten Nährstoffanreicherung der Gewässer beitragen. Deswegen bemüht man sich weltweit um die Entwicklung geeigneter Phosphatsubstitute. In der Diskussion befinden sich Nitrilotriazetat, Hydroxykarbonsäu-

ren, Polyakrylate u. a. Polymere. Eine praktische Lösung des Problems ist aber noch nicht in Sicht.

Herkömmliche Waschmittel emulgieren nur die Fette und damit natürlich auch nur die an den Fetten haftenden Schmutzpartikelchen im Wasser. Die z. B. in Speiseresten und Blut enthaltenen, schmutzbindenden Eiweißstoffe bleiben davon unberührt. Im heißen Waschwasser werden sie sogar noch unlöslicher. Dem versucht man mit der Entwicklung »biologisch aktiver« Waschmittel zu begegnen. Es handelt sich dabei um Präparate, die eiweißlösende Fermente, sogenannte Proteasen, enthalten. Bedauerlicherweise werden die meisten bekannten Proteasen durch die alkalische Reaktion der Waschlauge sowie durch die Hitze beim Waschprozeß zerstört. Es ist aber gelungen, aus Bakterien eine Protease zu isolieren, die nicht nur in alkalischen Lösungen wirksam bleibt, sondern auch Temperaturen bis 60°C verträgt. Vielleicht könnte es in der Zukunft sogar glücken, aus Bakterien, die in heißen Quellen leben, eine kochfeste Protease zu gewinnen und technisch nutzbar zu machen. Möglicherweise wird man in der Zukunft ein solches Ferment zumindest auch halbsynthetisch herstellen können.

Die Waschmittelenwicklung hat in den letzten 25 Jahren zu einem babylonischen Wirrwarr geführt. Das gilt besonders für die kapitalistischen Staaten. Aber auch in der DDR waren noch vor wenigen Jahren 100 verschiedene Waschmitteltypen im Angebot, von denen sowieso nur etwa zwölf zu einem Begriff geworden sind. Etwa seit 1972 ist man darangegangen, diese Typenvielfalt energisch zu reduzieren. Trotzdem wächst sich der Waschprozeß allmählich zu einer wahren Wissenschaft aus. Aus der Unkenntnis von Waschmittelwirkung und paßgerechter Waschtechnologie (richtiges Waschmittel, richtige Temperatur, richtige Dosierung, und das für jede Faser!) werden im Durchschnitt 10 bis 15% zuviel Waschmittel verbraucht. Wer findet sich auch schon zurecht zwischen all den Grob-, Schnell-, Mehrzweck-, Leicht- und Feinwaschmitteln? Da wirkt die Aufschrift »Waschmittel für alle Waschverfahren« geradezu erlösend. Natürlich findet man sie nur auf den Packungen der Vollwaschmittel, die denn auch die Krone der bisherigen Entwick-

lung darstellen. Sie waschen, bleichen und schaffen bei kochfester Wäsche selbst den hartnäckigsten Schmutz einschließlich der zählebigen Obst- und Rotweinflecken. Das seit 1973 im DDR-Handel befindliche Vollwaschmittel Spee enthält neben einem oberhalb von 60°C wirksam werdenden oxydierenden Bleichmittel je einen optischen Aufheller für Zellulosefasern und weiße Synthetiks. Spee-Synthex (seit Anfang 1975) arbeitet sogar schon unterhalb 60°C. Nicht ganz so vielseitig und deswegen auch nicht für starke Verschmutzungen geeignet sind die Mehrzweckwaschmittel, weil sie keine bleichenden Substanzen enthalten. Sie waschen Zellulosefasern ebenso wie Synthetiks und sofern sie – wie Fay – neutral reagieren, sehr gut auch Wolle und Naturseide.

Als wichtigste Wirkfaktoren des Waschprozesses müssen Chemie (in Form von Chemikalien), Mechanik (heute meist Waschmaschine) sowie Temperatur und Zeit genannt werden. Die Forschungs- und Entwicklungsziele sind darauf gerichtet, den Anteil der Chemie zu vergrößern, die verbraucherbezogenen Faktoren Temperatur und Zeit aber zu minimieren. Für die Zukunft werden auch die hygienischen Aspekte der Textilreinigungstechnologie an Bedeutung gewinnen. Die Fachwelt trägt diesem Trend Rechnung, indem sie den Zusatz von Bakteriziden oder zumindest von bakteriostatisch wirkenden Stoffen diskutiert.

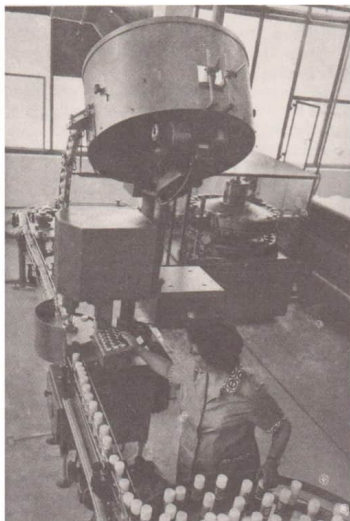
Die Entwicklung der haushaltgebundenen Reinigungstechnik wird in wenigen Jahrzehnten ihre Grenzen erreicht haben. Der weitere Fortschritt kann unter sozialistischen Bedingungen nur im Rahmen eines gut ausgebauten Dienstleistungsnetzes erfolgen. Die Reinigungsdienste werden sich deshalb zu einer mit modernen Großmaschinen ausgestatteten Industrie entwickeln, die nach wissenschaftlichen Grundsätzen produziert. Dadurch wird auch der fachgerechte Einsatz komplizierter Waschsubstanzen möglich, während heute die Herstellung narrensicherer Mittel notgedrungen den Vorrang hat. Wer aber das Wäschewaschen als Hobby betreiben will, der wird auch später noch Waschmaschinen kaufen können, ebenso wie er heute noch ein Waschbrett bekommen kann. Allerdings wird ihm dieses Hobby nicht nur

Mühe machen, sondern – wie fast jedes anständige Hobby – auch viel Geld kosten. Wer das nicht glaubt, der mag einmal nachrechnen, wie viele Jahre er für den Preis einer mehr oder weniger komfortablen Waschmaschine seine Wäsche im Dienstleistungskombinat würde waschen lassen können.

So weit so gut. Aber für den Teppich oder für den Polstersessel muß ein anderer Weg gefunden werden, denn der Sessel paßt nun einmal nicht in eine Waschmaschine. Die bisherige Lösung heißt Schaumreiniger, mit dem heute schon (sozusagen durch eine trockene Wäsche) ganz verblüffende Effekte erzielt werden können.

Auch gegen Flecken aller Art sind wirksame Helfer entwickelt worden. So enthält z. B. die bekannte Hexenmeisterserie aus der DDR

Herstellung von Sprays – das ist ein kräftiger Trend vor allem in der modernen Haushaltchemie. Im Bild eine moderne Anlage zur Füllung von Spraydosen.

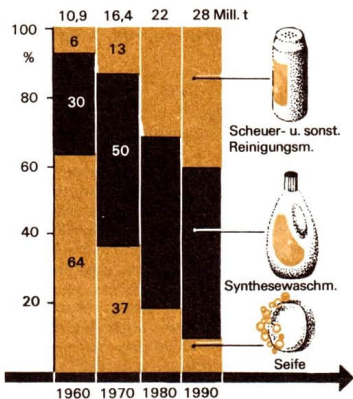


wirksame Stoffe gegen Tinte und Kaffee ebenso wie gegen Obst oder Rost.

Reinigungsmittel für die Küche sollen nicht nur den Schmutz möglichst selbständig beiseitigen, sondern hinterher auch spurlos wieder verschwinden. Wer schon einmal im Schweiß seines Angesichts versucht hat, die Rückstände eines verbrutzten Schnittzels aus der Bratröhre zu entfernen, der wird auch die erfolgreichen Bemühungen der Chemiker auf dieser Spezialstrecke zu schätzen wissen. Übrigens geht der Trend in der Haushaltschemie eindeutig zum flüssigen Universalmittel, das sich, in zweckmäßige Plastikflaschen und Spraydosen verpackt, viel bequemer handhaben läßt als Pulver und Pasten.

Angesichts der weltweiten Diskussion über die Erleichterung der Haushaltsarbeit vergißt man schnell, daß auch die Industrie ihre Reinigungsprobleme hat. Die Reinigung ist dort oft sogar eine wichtige Fertigungsstufe und beeinflußt den Gebrauchswert des Endprodukts. Entsprechend der Vielzahl der vorkommenden Anschmutzungsarten, der unterschiedlichen Werkstoffe und der übrigen Bedingungen sind die Reinigungsmittel und -verfahren außerordentlich unterschiedlich. Neben den althergebrachten anorganischen Substanzen (wie Ätznatron, Silikaten, Phosphaten usw.) und organischen Lösungsmitteln gewinnen seit einigen Jahren neutrale, flüssige Reinigungsmittel mit einem relativ hohen Gehalt an Tensiden bzw. Emulgatoren an Bedeutung. Auch die Schaumreinigung mit geeigneten Tensidlösungen hat als materialschonende und ökonomische Methode Eingang in die Industrie gefunden. Noch im Stadium der Erprobung befinden sich Trockenemulsionsreiniger für elektrische Anlagen und Kunststoffoberflächen.

Alles in allem steht heute hinter den Reinigungspraktikern in Haushalt und Industrie eine gewaltige Produktionskapazität. Im Jahre 1965 wurden bereits 2,2 Mill. t synthetische Waschmittel erzeugt, davon 70% Alkylbenzolsulfonate und 14% Fettalkoholsulfate. Die Weltproduktion an Seife, Wasch- und Reinigungsmitteln erreichte 1970 insgesamt 16,4 Mill. t bei einer jährlichen Wachstumsrate von zirka 3%. In den Chemieländern sind die synthetischen Wasch- und Reinigungsmittel am wertmäßigen Produktionsvolumen der



Produktionsentwicklung und strukturelle Verschiebung der Wasch- und Reinigungsmittelproduktion im Weltmaßstab mit Prognoseversuch bis 1990.

chemischen Industrie bis zu etwa 9% beteiligt. Der relative Rückgang der Seifen zugunsten von Synthesewaschmitteln wird auf lange Sicht anhalten, und der Verbrauchsanstieg an flüssigen Waschmitteln soll den Zuwachs bei pulverförmigen Waschmitteln übertreffen. In jedem Fall wird die langfristig bleibende Umschichtung zugunsten immer besserer waschaktiver Substanzen eine bedeutende Zunahme der Waschkraft zur Folge haben.

Auch im nächsten Jahrzehnt werden noch etwa drei Viertel aller Seifen, Wasch- und Reinigungsmittel von nur einem Drittel der Weltbevölkerung (Europa, Nordamerika, Australien, Japan) verbraucht. Afrika und Asien liegen infolge jahrzehntelanger kolonialer Unterdrückung weit unter dem Durchschnitt, denn das Ausmaß der Seifenanwendung in verschiedenen Ländern wird vom allgemeinen und speziellen Industrialisierungsgrad und nicht etwa vom unterschiedlichen Reinlichkeitsbedürfnis ihrer Bewohner bestimmt.

Von dieser »hausbackenen« Chemikalienkost machen wir nun einen gewaltigen Sprung, mit dem wir zugleich das wahrhaft

universale Arbeitsfeld der Chemie kennzeichnen wollen, und fragen in aller Bescheidenheit:

Waren die Chemiker etwa auch schon im Kosmos?

Nein, so sehr die Chemie in den letzten Jahrzehnten ihren Wirkungsbereich auch erweitert haben mag – im Kosmos waren die Chemiker noch nicht! Das bedeutet aber keinesfalls, daß die Chemie noch nicht in den Weltraum eingedrungen wäre. Im Gegenteil, ohne energie-reiche Raketentreibstoffe, ohne neuartige Werkstoffe, die krasse Druck- und Temperaturdifferenzen ebenso aushalten wie die intensive kosmische Strahlung, ohne elektrochemische Energiespeicher und ohne mannig-fache chemische Hilfsmittel zur Sicherung der Ernährung und zum Beseitigen der Abfälle würden wir auch heute noch den Mond nur aus der Ferne betrachten. Aber der Kosmos ist längst auch schon selbst zum Forschungs-gegenstand der Chemie geworden, und heute haben die nach wie vor auf der Erde praktizierenden „Weltraumchemiker“ nicht zuletzt dank ihres Bündnisses mit der Astrophysik ein Niveau erreicht, bei dem sie sich bereits in einer neuen Disziplin, nämlich der Kosmos-chemie, zu formieren beginnen.

Kosmoschemie ist die Chemie des Mondes und der anderen Himmelskörper, so wie Geochemie die Chemie der Erde ist. Auch die interstellaren Räume gehören zu ihrem Arbeitsfeld. Die Kosmoschemiker interessieren sich für die Verteilung der Elemente im Un-iversum, um daraus Informationen über den Werdegang der Erde und des Weltalls zu gewinnen. Schon stellen sie jedoch die ersten Überlegungen an, um den Kosmos zu einem riesigen Labor mit einmaligen Extremen im Hinblick auf Druck, Temperatur und Staub-freiheit zu machen. Mancher wird meinen, daß dazu bei allem Wohlwollen die vorhandenen Informationsquellen wohl doch noch etwas zu mager seien. Aber das ist nur bedingt rich-tig.

Die ersten fundierten Ergebnisse über die chemische Zusammensetzung außerirdischer Himmelskörper wurden mit Hilfe der Spektral-analyse gewonnen. Jedoch sind die Chemiker

nicht nur auf physikalische Fernuntersuchun-gen angewiesen, denn immerhin fällt ja aus dem Kosmos auch Materie auf die Erde. Diese steinernen »Sendboten« des Himmels (Me-teoriten) lassen sich unmittelbar im Labor analysieren. Überraschenderweise ergab sich dabei, daß die chemische Zusammensetzung der Meteoriten ungeachtet einer gewissen Differenzierung so einförmig ist, als ob sie aus ein und demselben Bergwerk stammen wür-den. In keinem Falle wurde bisher ein Element gefunden, das nicht auch auf der Erde vor-kommt. Mit genauen Analysenverfahren konnten fast alle auf der Erde bekannten Elemente nachgewiesen werden. Sogar dieselben Isotopenmischungen wurden be-obachtet. Charakteristisch ist, daß die meisten Meteoriten viel gediegenes Eisen, aber nur sehr wenig von dem auf der Erde reichlich vorhandenen Quarz enthalten. Substanzen, die auf Lebewesen hinweisen, wurden bisher nicht gefunden, wohl aber Kohlenstoff in ver-schiedenen Formen (z. B. in Gestalt winziger Diamanten, als Graphit oder amorphe Kohle).

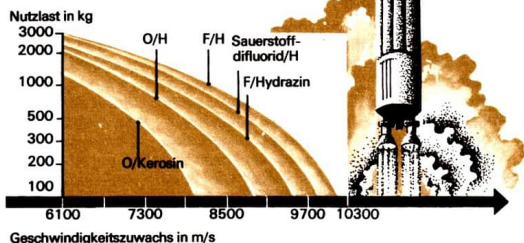
Die am häufigsten auftretenden Gesteins-meteoriten bestehen wie auch viele Erd-gesteine im wesentlichen aus Magnesiumsili-katen. Eisenmeteorite enthalten 90% Eisen. Nickel tritt in Mengen zwischen 6 und 20% auf. Außerdem können bestimmte Anteile von Kobalt, Kupfer, Chrom, Phosphor, Schwefel sowie Platin, Palladium, Silber, Osmium, Iri-dium, Gold u. a. zugegen sein. Eingeschlos-sene Gase (H_2 , CO_2 , CO) vervollständigen das Bild.

Die Periode der direkten geologischen Er-kundung kosmischer Objekte begann am 21. Juli 1969. An diesem Tag betraten die er-

Tabelle 8. Einige der in den letzten Jahren im inter-stellaren Raum nachgewiesenen Moleküle:

1976:	$HC\equiv C-C\equiv C-C\equiv N$ (Zyandiazetylen, bisher schwerstes nachgewiesenes Molekül)
1975:	$HCOOH$ (Ameisensäure)
1974:	C_2H_5OH (Äthylalkohol)
1972:	H_2CNH (Methylenimid)
1971:	CH_3COOH (Essigsäure)
1970:	H_2 (Wasserstoff)
1969:	H_2O (Wasser)
1968:	NH_3 (Ammoniak)

In der Weltraumfahrt können Nutzlasten vorerst nur mit chemischen Triebwerken in eine Erdumlaufbahn gebracht werden. Unser Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit einer zweistufigen Trägerrakete und der Nutzlast, wenn die 2. Stufe mit verschiedenen Treibstoffen gleicher Masse (12,5t) angetrieben wird.



sten Menschen den Mond, sammelten dort Gesteinsproben und brachten diese wenige Tage später zur Erde. Ein reichliches Jahr danach landete mit Luna 16 die erste vollautomatische Station auf dem Mond, die ebenfalls Bodenproben auf die Erde holte. Nur wenig später, im November 1970, setzte Luna 17 das erste Mondauto im nordwestlichen Regenmeer auf dem Erdtrabanten ab. Dieses phantastische Fahrzeug erkundete 321 Tage lang bei Temperaturen zwischen -140°C und $+130^{\circ}\text{C}$ etwa 50 Hektar Mondfläche. Am Bug des Fahrzeugs arbeitete ein »Durchleuchtungsapparat« zur chemischen Untersuchung des Untergrundes. Mittels harter Röntgenstrahlung wurden die Elemente dazu angeregt, kurzwellige Strahlen auszusenden, deren Analyse Aufschluß über die chemische Zusammensetzung gab. Die Lunochodergebnisse zeigten, daß das Mondgestein ungeachtet des etwas größeren Anteils an hochschmelzenden Titan-, Zirkonium-, Chrom- und Eisenverbindungen in seiner chemischen Zusammensetzung dem irdischen Material sehr ähnlich ist.

Die bisher ermittelten Daten zur Mondchemie ließen auch die Gedanken der Anwendungstechniker in Bewegung kommen. So stellten sowjetische Geochemiker fest, daß

Mondeisen langsamer rostet als irdisches Metall. Es liegt nahe, auf der Grundlage vergleichender Analysen von irdischem und lunarem Eisen zu versuchen, dem irdischen Metall eine ähnliche Widerstandsfähigkeit zu verleihen.

Die von Lunochod 1 erforschte Oberfläche des »Regenmeers«, die als typisch für die meisten Mondmeere angesehen wird, ist mit einer lockeren Schicht des interessanten Minerals Regolith bedeckt. Es hat eine Wärmeleitfähigkeit, die kleiner ist als die der besten irdischen Wärmeisolatoren; ein Befund, der großes Interesse beansprucht.

Inzwischen werden langsam, aber sicher auch andere Himmelskörper unter die Lupe genommen. So führten die auf der Venus gelandeten sowjetischen Raumsonden Analysen des Oberflächenmaterials mit einem Gammaskpektrometer durch. Danach hat der Venusboden eine chemische Zusammensetzung, die etwa dem irdischen Granit entspricht.

Die im »luftleeren« Raum zwischen den Himmelskörpern befindliche Materie besteht aus zwei Komponenten, dem interstellaren Gas und dem interstellaren Staub. Wasserstoff ist mit 70 Masseprozent das häufigste Element, gefolgt von Helium mit 28 Mas-

seprozent. Als Bestandteile interstellarer Gaswolken sind bis heute mehr, als 20 chemische Komponenten nachgewiesen worden. Dabei wurden neben einfachen Molekülen, z. B. CO, H₂, HCN, H₂O, NH₃, in bisher etwa 200 kosmischen Nebeln auch kompliziertere Spezies wie Methanol, Isozyansäure, Formamid, Formaldehyd, Methylazetylen und Azetaldehyd entdeckt.

Unser Wissen über die chemische Zusammensetzung der interstellaren Staubteilchen ist zur Zeit noch sehr gering. Die vorgeschlagene Skala der Materialien reicht von Eis über Metall bis zum Diamant. Neuere Messungen deuten darauf hin, daß es sich zumindest in einigen Regionen auch um Silikate handelt.

Die bisherigen Betrachtungen zeigen, daß die kosmoschemische Forschung noch in den Kinderschuhen steckt. Demzufolge wird auch die praktische Anwendung ihrer Ergebnisse noch einige Zeit auf sich warten lassen. Den interplanetaren Transport kleinerer Materialproben für die Laboratorien der Wissenschaftler werden wir jedoch schon bald als etwas Normales betrachten. Ob man aber kosmische Rohstoffe überhaupt jemals auf unserer Erdkugel großtechnisch verwerten wird, erscheint fraglich. Wahrscheinlich wird man es zu gegebener Zeit vorziehen, diese Materialien in vollautomatischen Anlagen

gleich an Ort und Stelle, z. B. auf dem Mond, zu verarbeiten und die heute noch komplizierend wirkenden Faktoren Schwerelosigkeit und hartes Vakuum in produktionsfördernde Vorteile umzumünzen. So ist es für die chemisch-pharmazeutische Industrie interessant, daß Bakterienkulturen in der Schwerelosigkeit besser wachsen als auf der Erde. Man hofft außerdem, Legierungen mit neuartigen Eigenschaften gewinnen zu können. Auch die Herstellung von großen, fehlerfreien Kristallen wird sehr aussichtsreich beurteilt, und die Produktion von monokristallinen Metalloxidverbindungen, die bei Erdschwere nicht in dieser Form hergestellt werden können, ist für die Bearbeitung harter Metalle von großem Interesse. Weiterhin erscheint die Erzeugung neuer optischer Gläser und Glasmischungen vielversprechend. Mit einem Wort: Sobald es erst einmal möglich sein wird, das Vakuum des Mondes technisch zu nutzen, werden Produktionsrichtungen entstehen, die man sich heute noch gar nicht recht vorstellen kann. Für diese Entwicklung wird man bis zur Jahrtausendwende nicht mehr als die Grundlagen schaffen. Dann aber könnte sich die heute noch primär analytisch orientierte Kosmoschemie schrittweise zu einer neuartigen »Syntheschemie unter Weltraumbedingungen« entwickeln.

Perspektiven der Werkstoffchemie

Kunststoffe erobern die Welt!

Es ist nun schon mehr als 100 Jahre her, daß die Brüder Hyatt in New Jersey, USA, nach einer widerstandsfähigen und gleichzeitig weichen Masse für Buchdruckerwalzen suchten. Das Ergebnis ihrer Bemühungen war ein gut verformbares Material aus nitriertem Papier und Kampfer. Damit war der erste organische Kunststoff geboren. Er bekam den Namen Zelluloid.

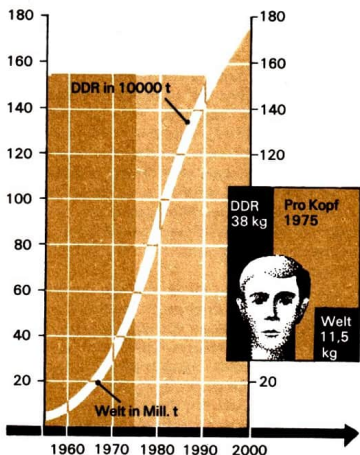
Heute steht eine Palette synthetischer Werkstoffe zur Verfügung, die in ihrer Vielfalt selbst von den Spezialisten kaum mehr zu übersehen ist. Sie stellen das jedem Laien geläufige Wahrzeichen der modernen Chemie dar: Stoffe, die es in der Natur überhaupt nicht gibt, Stoffe, die allein vom Menschen für die Bedürfnisse des Menschen geschaffen wurden – Kunststoffe.

Obwohl sich das Zelluloid schnell einen bedeutenden Markt eroberte, beginnt die »Ära« der organischen Kunststoffe, die man im weiteren Sinne auch als Plaste bezeichnet, eigentlich erst in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts. Im Jahre 1900 betrug die Weltproduktion knapp 20 000 t. In der Jahrhundertmitte wurden jährlich etwa 1,5 Mill. t erzeugt. Wahrhaft explosiv stieg die Produktion dann in den 60er Jahren. 1970 waren bereits 38 Mill. t erreicht, und die Invasion der neuen Werkstoffe hält auch heute noch an. Seit 1950 hat sich die Kunststoffherzeugung in grober Näherung alle fünf Jahre verdoppelt. Rechnet man auf dieser Basis weiter bis zur Jahrtau-

sendwende, so würden im Jahre 1980 über 100 Mill. t Plastmaterialien die Chemiefabriken verlassen, und für das Jahr 2000 müßte man nicht weniger als 1,6 Mrd. t prognostizieren. Das wären mehr als 40mal soviel wie im Jahre 1970, während sich im gleichen Zeitraum die Stahlproduktion voraussichtlich nur knapp um das 3fache bis auf zirka 1600 Mill. t erhöhen soll. Unter diesen Bedingungen würde die Volumenerzeugung von Plaste Anfang der 80er Jahre schon diejenige von Eisen erreichen und bis zur Jahrtausendwende bereits um das Siebenfache überschreiten!

Die Realisierung eines solchen Zuwachses erscheint aber höchst problematisch, so daß von anderen Autoren für die nächsten Jahrzehnte ein langsames Entwicklungstempo vorausgesagt wird. Danach ist im Jahre 1980 eine Kunststoffherzeugung von 60 bis 90 Mill. t und an der Jahrtausendwende von etwa 100 bis 200 Mill. t als erreichbar anzusehen. Die jährliche Wachstumsrate des vergangenen Dezenniums (16,6%) hat sich Anfang der 70er Jahre jedenfalls schon auf etwa 12% verringert. Die Wachstumsgeschwindigkeiten der Vergangenheit werden also bis zum Jahre 2000 auf keinen Fall durchzuhalten sein, und zwar weder von der Rohstoffversorgung noch von den Investitionsmöglichkeiten her, denn die Erfahrungen der 60er Jahre besagen, daß schon bei den Massenkunststoffen je Tonne Jahresproduktion ein Investitionsaufwand von immerhin 900 Rubeln erforderlich ist. Und die wollen für den vorausgesagten Zuwachs erst einmal aufgebracht werden!

Die Kunststoffherzeugung ist gegenwärtig mit etwa 7 bis 8% am Weltchemieumsatz beteiligt. Ihre ursprüngliche Konzentration auf wenige Industrienationen hat zwar seit 1950 abgenommen, aber sie ist auch heute noch deutlich ausgeprägt. 1950 entfielen 80% der Weltproduktion auf nur zwei Länder, 1970 dagegen schon auf sieben Länder. 60% aller Kunststoffe wurden von den USA, Japan und der BRD hergestellt. Die sozialistischen Staaten waren mit etwa 10% beteiligt, wovon etwa die Hälfte auf die UdSSR entfiel. In der Sowjetunion hatte die Plasterstellung aus historischen Gründen einen verzögerten Anlauf. Inzwischen aber wächst hier die Produktion mit einer Geschwindigkeit, die bei jährlichen



Entwicklung der Plastikproduktion im Weltmaßstab und in der DDR seit 1955 mit Prognoseversuch.

Zuwachsraten um 16% das internationale Spitzentempo mitbestimmt. In der DDR wurde mit etwa 320 000 t im Jahre 1975 gegenüber 1970 nahezu eine Verdoppelung erreicht. Die Produktion von Plasten steigt bei uns jährlich ungefähr um 13%, so daß man im Jahre 1980 voraussichtlich 920 000 t, also rund 54 kg Plaste pro Einwohner, erzeugen wird.

Die anhaltende Expansion der organischen Kunststoffe ist ein charakteristischer Trend unserer Zeit, denn diese Materialien bieten im wahrsten Sinne des Wortes

Für jeden Zweck den passenden Werkstoff

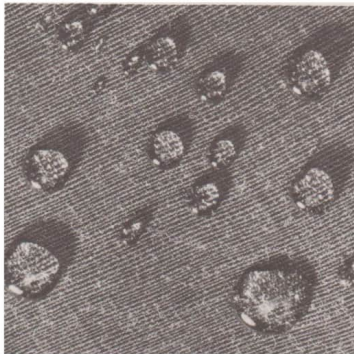
In der Zukunft werden die Anforderungen der Gesellschaft an die Werkstoffchemie sehr schnell weiterwachsen. Oftmals völlig gegensätzliche Eigenschaften müssen unter einen Hut gebracht werden: Härte und Elastizität, gutes Isolationsverhalten und hohe Temperaturbeständigkeit, geringes Gewicht und große Festigkeit. Viele Werkstoffe sollen ab-

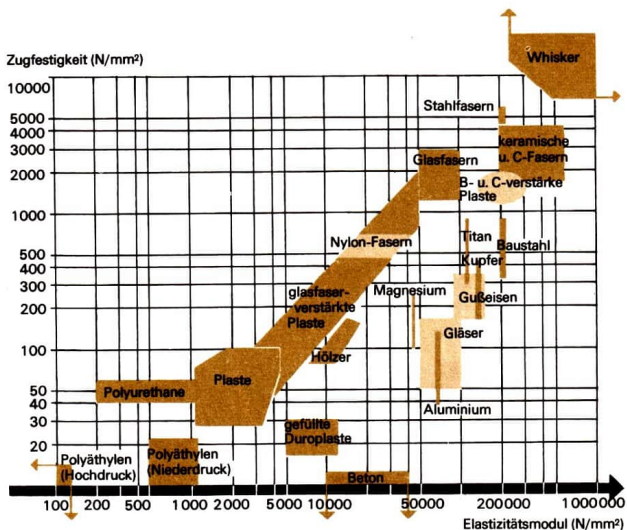
riebfest und wasserbeständig, noch besser aber wasserabstoßend sein. Schalldämpfende und wärmehaltende Eigenschaften werden ebenso verlangt wie ansprechende Farben und Transparenz. Die neuen Materialien müssen witterungsbeständig und pflegeleicht sein. Bei der Verarbeitung darf keine Nachbesserung erforderlich werden. Abfälle und Ausschuß sollen sich wiederverwenden lassen.

Heute steht fest, daß alle diese hochgesteckten Ansprüche – wenn überhaupt von einer Werkstoffklasse – so von den Plasten am besten erfüllt werden können. Ob in den farbenfrohen Rümpfen moderner Sportboote oder in extrem beanspruchten Teilen der Raumfahrttechnik, ob in Gestalt widerstandsfähiger Abgasschornsteine oder in Form des unscheinbaren Perlonfadens, mit dem der Chirurg nach gelungener Operation den verbleibenden Blinddarmrest zunäht – auf allen Gebieten erweisen sich Plaste als die geeigneten Materialien. Die Frage liegt deshalb nahe, wie eine solche Vielfalt überhaupt möglich ist und welche Aussichten bestehen, die ohnehin schon breit gefächerte Palette dieser Produkte noch weiter auszudehnen.

Organische Kunststoffe sind bekanntlich aus Makromolekülen aufgebaut, die ihrerseits

Silikonpräparate machen Gewebe und Mauerwerk wasser- und schmutzabweisend.





aus zahlreichen kleinen Grundmolekülen zusammengesetzt sind. Der Aufbau dieser Grundmoleküle zum Makromolekül kann durch Polymerisation¹, Polyaddition² oder Polykondensation³ erfolgen. Die Qualität der entstehenden Polymeren wird dabei von zahlreichen Faktoren mitbestimmt. Aus ihrer Überlagerung ergibt sich eine Vielzahl von Variationsmöglichkeiten, die auch heute noch nicht ausgeschöpft ist.

Etwa zwei Drittel der gesamten Weltplastproduktion entfallen auf die Massenkunst-

Orientierungskarte der mechanischen Materialeigenschaften (Zugfestigkeit und Elastizitätsmodul) verschiedener Werkstoffe. Sehr feste und weiche (links oben) sowie sehr steife und gleichzeitig wenig feste Werkstoffe (rechts unten) gibt es nicht.

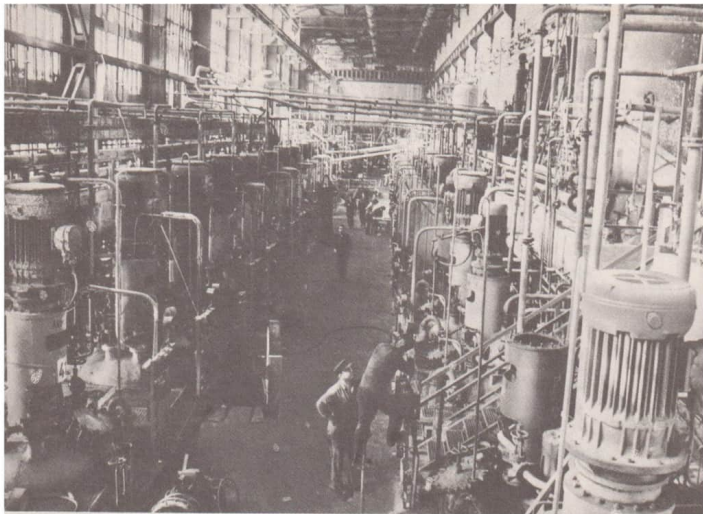
stoffe Polyäthylen, Polyvinylchlorid (PVC) und Polystyrol mit den Haupteinsatzgebieten Bauwesen, Verpackung, Maschinenbau, Elektrotechnik, Fahrzeuge. Das ist vor allem durch die relativ niedrigen Preise und die kostengünstige Verarbeitbarkeit begründet. Erst sekundär spielen die Eigenschaften eine Rolle, die in vielen Positionen von teureren Spezialkunststoffen oft weit übertroffen werden. Im verbleibenden Drittel dominieren ungesättigte Polyesterharze, Polyurethane, Polyvinylazetat, Amino- und Phenoplaste, Polyakrylate und Polymethylakrylate. Die sogenannten Spezialplaste, z.B. Polyformaldehyd, Polycarbonate, Fluorpolymere, Silikone, Polyamide und Epoxidharze, sind insgesamt kaum mit 2% beteiligt.

In der DDR ist die Struktur der Plasterzeugung etwas anders als im internationalen

1 Polymerisation: Verkettung einfacher, ungesättigter Grundmoleküle zu hochmolekularen Produkten ohne Abspaltung dritter Stoffe. Beispiel: $n \cdot \text{Äthylen} \rightarrow \text{Polyäthylen}$.

2 Polyaddition: Vereinigung verschiedenartiger Grundmoleküle zu hochmolekularen Produkten ohne Abspaltung dritter Stoffe. Beispiel: $x \cdot \text{Diisocyanate} + y \cdot \text{mehrwertige Alkohole} \rightarrow \text{Polyurethan}$.

3 Polykondensation: Vereinigung meist verschiedenartiger Grundmoleküle zu hochmolekularen Stoffen unter Abspaltung niedermolekularer Produkte. Beispiel: $x \cdot \text{Formaldehyd} + y \cdot \text{Harnstoff} \rightarrow \text{Harnstoff-Formaldehydharz} + z \cdot \text{Wasser}$.



So sieht es in der Polymerisationsabteilung für PVC in den Bunawerken aus.

Maßstab. So war der PVC-Anteil im Jahre 1970 mit etwa 36% nahezu doppelt so hoch, während Polyäthylen lediglich einen Anteil von 9% (gegenüber etwa 29%) hatte. Das hängt u. a. mit Fragen der Materialökonomie zusammen. Zur Herstellung von PVC benötigt man nämlich nur ein Drittel der für die gleiche Menge Polyäthylen erforderlichen Monomeren. Über das feuer- und wetterbeständige PVC kann deshalb mit einem bestimmten, verfügbaren Äthylenquantum eine größere Menge an Plasten hergestellt werden.

Einige der wichtigsten Spitzenplaste waren um 1970 30 bis 40 Jahre alt. Es ist damals der Gedanke geäußert worden, daß die Massenkunststoffe der Jahrtausendwende vielleicht gerade erst geboren werden. Soweit man dabei an chemisch völlig neuartige Produkte dachte, wird diese Auffassung von den

Fachleuten nicht geteilt. Die heutigen Hauptplastgruppen, etwa in der Reihenfolge Polyäthylen, PVC, Polystyrol, Polyurethan, Polypropylen, Polyester, Amino- und Phenoplaste, werden in weiterentwickelten und verbesserten Typen auch im Jahre 2000 noch die Hauptrolle spielen. Trotzdem wird man durch neue Molekulanordnungen und vielfältige Kombinationen eine ständig breiter werdende Palette von Produkten mit den unterschiedlichsten Eigenschaften zur Verfügung stellen können. Ein gutes Beispiel für die Möglichkeiten einer solchen Modifizierung bieten die ABS-Polymere. Sie werden fast ausschließlich durch Pffropfpolymerisation¹ hergestellt. Der Name geht auf die Anfangsbuchstaben der drei Grundmonomeren zurück. Akrylnitril (A) steuert die chemische Beständigkeit bei,

¹ Pffropfpolymerisation: Auf die Hauptketten eines Polymeren werden nachträglich Seitenketten mit einem andersartigen chemischen Charakter aufgepfropft.



Hinter der Bezeichnung »Mirathen« verbirgt sich das in Leuna hergestellte Hochdruckpolyäthylen, dessen Makromoleküle im Gegensatz zum Niederdruckpolyäthylen verzweigt sind.

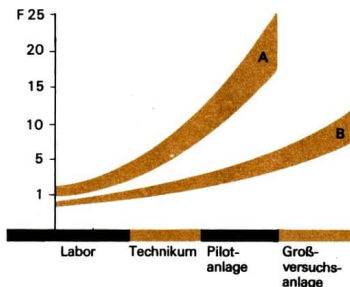
Butadien (B) verleiht Resistenz gegenüber Schlagbeanspruchung, Styrol (S) liefert Härte und gute thermoplastische Verarbeitbarkeit. Durch die Variation der einzelnen Monomerenanteile und der Polymerisationsbedingungen lassen sich Typen mit unterschiedlichsten Eigenschaften herstellen. Ihr Hauptanwendungsbereich liegt auf dem Gebiet der Metallsubstitution.

Es ist außerdem zu erwarten, daß einige der in den 60er Jahren zu bescheidener industrieller Bedeutung aufgestiegenen Spezialplaste bis zum Jahre 1990 in ähnlicher Weise expandieren werden wie beispielsweise die Epoxidharze und Silikone, deren Weltproduktion schon Ende der 60er Jahre die 100000-t-Grenze überschritten hatte. Eine ernsthafte Konkurrenz für die bereits er-

wähnten Massenplaste wird jedoch bis zur Jahrtausendwende nicht entstehen.

Zu einer weiteren Verbilligung der auf hohem technischem Niveau betriebenen Massenplasterstellung könnten wohl nur noch größere Produktionseinheiten und technische Rationalisierungen beitragen, während die Rohstoff- und Energiesituation langfristig eher eine Verteuerung erwarten läßt.

Es liegt auf der Hand, daß von den Plasten alle diejenigen am leichtesten zu handhaben sind, die reversibel erhärten und erweichen. Sie lassen sich durch Spritzgießen, Vakuumverformen, Strangpressen oder auch einfach durch Preßformung äußerst rationell weiterverarbeiten. Derartige Eigenschaften haben die Thermoplaste, z.B. Polyäthylen, PVC, Polystyrol und ABS-Polymere. Kunststoffe dagegen, die beim Erhitzen nicht erweichen, heißen Duroplaste. Dazu gehören Phenol-, Harnstoff- und Polyesterharze. Das sind anfangs Flüssigkeiten oder Pasten, die bei Zugabe eines Katalysators oder beim Erwär-



Relative Steigerung der Forschungsaufwendungen (F) bei der Entwicklung eines hochpolymeren Werkstoffs (nach Kaltwasser 1975). A = Entwicklung eines neuen Werkstoffs und/oder Verfahrens, B = Modifizierung von Massenplasten und/oder einer Prozeßstufe.

men durch eine fortschreitende Vernetzung der Makromoleküle irreversibel erhärten.

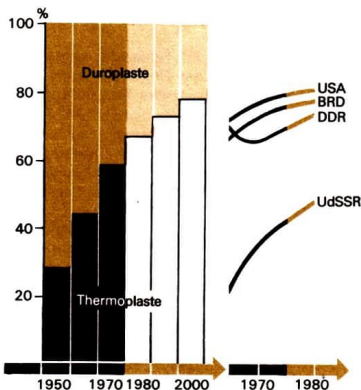
Die leichte Verarbeitbarkeit und die günstigen Eigenschaften brachten in den letzten 20 Jahren einen raschen Zuwachs der Thermoplaste, eine Tendenz, die auch weiterhin anhalten wird. Man erwartet, daß ihr Anteil an der Weltplastproduktion noch bis auf etwa 75% ansteigt. Die Duroplasterzeugung wird demgegenüber zurückbleiben, wenn auch ihr Einfluß in den bisherigen Anwendungsbereichen erhalten bleibt und die Polyestertypen vielleicht sogar Boden gutmachen könnten.

Die Lücken zwischen Thermo- und Duroplasten sowie zwischen natürlichen und synthetischen Produkten werden in der Zukunft durch ein kontinuierliches Spektrum von Plastwerkstoffen mit »maßgeschneiderten« Eigenschaften ausgefüllt. So wird man Thermoplaste entwickeln, die »reversibel vernetzbar« sind. Solche Produkte könnten bei der Verarbeitungstemperatur thermoplastisch sein, bei den tiefer liegenden Gebrauchstemperaturen aber vernetzen.

Die weiteren Fortschritte der Plastwerkstoffchemie werden sich in besseren mechanischen Werten sowie in einer höheren Temperatur- und Alterungsbeständigkeit niederschlagen. Besonders interessant sind die Bemühungen zur Steigerung der Ge-

brauchstemperaturen. Obwohl man das Wärmeverhalten von Thermoplasten durch nicht brennbare Füllstoffe (z.B. Polyphosphate) und auch durch Vernetzen beeinflussen kann, sind doch die besten Ergebnisse mit speziellen Monomeren zu erzielen. Wegen der Festigkeit des Benzolringes haben aromatische und heteroaromatische Strukturen (z.B. Polyphenylensulfid, aromatische Polyamide, Polyimide und vollaromatische Polyester), aber auch modifizierte Fluorpolymere die besten Aussichten. Es zeigte sich, daß es möglich ist, Polymere zu synthetisieren, die mit etwa 200 bis 400°C den Gebrauchstemperaturbereich erreichen, der ursprünglich nur den anorganischen Stoffen vorbehalten schien. Wahrscheinlich wird aber das heute schon erfaßte Limit für einige Polyimide und Polysulfone so bald nicht überschritten werden. Günstigenfalls glaubt man 540°C realisieren zu können. Für den Überschallflug entwickelte spezielle Polyimidwerkstoffe halten immerhin schon 30 Minuten bis zu 465°C aus. Demnach könnte es in den nächsten 20 Jahren wohl Kunststoffe geben, die so hitzebeständig sind wie Aluminium, aber es ist

Verschiebung des Verhältnisses von Thermoplasten zu Duroplasten im Weltmaßstab (links) und in ausgewählten Ländern (rechts).



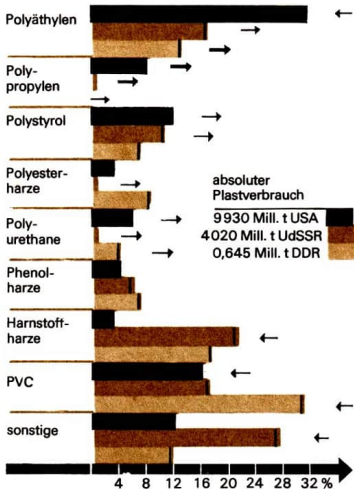
unwahrscheinlich, daß man die Wärmebeständigkeit von Stahl erreichen wird. Zu den Hauptanwendungsgebieten für derartige Materialien gehören übrigens neben der Flugzeug- und Raumfahrtindustrie auch die Drahtisolation für moderne Elektromotoren sowie der Kraftfahrzeug- und Werkzeugmaschinenbau.

Das schon lange erstrebte Ziel, einen hitzestabilen anorganischen Kunststoff mit gummi- oder plastartigen Eigenschaften zu erzeugen, ist ungeachtet der erfolgreichen Silikonchemie noch nicht erreicht worden. Die großen Anstrengungen, neue lineare Polymere aus Verbindungen mit Bor, Phosphor, Stickstoff, Schwefel und den Übergangsmetallen herzustellen, haben bisher keinen durchschlagenden Erfolg gebracht. Angesichts dessen wird der weitere Fortschritt bis zur Jahrtausendwende durchweg zurückhaltend beurteilt.

Die Entwicklung der Plastwerkstoffe wäre unvollständig charakterisiert, wenn man nicht auf ihre zahlreichen Nutzungsmöglichkeiten eingehen würde. Aber mit der Aufzählung erfolgreich praktizierter und zukunftssträngiger Anwendungen dieser typischen Chemiewerkstoffe könnte man ganze Bände füllen – und würde dennoch den Leser nur langweilen! Deshalb soll die Vielzahl und Breite der Einsatzmöglichkeiten, stellvertretend für alle anderen, an Hand dreier Bereiche deutlich gemacht werden, von denen zu erwarten ist, daß sie nicht nur das Interesse der Spezialisten beanspruchen: das Bauwesen, der Sport und die Automobilherstellung.

Bauen mit Plasten

Jeder weiß, daß die Bauindustrie überwiegend noch mit den traditionellen Werkstoffen Holz, Beton, Eisen und Aluminium arbeitet. Trotzdem ist auch der Einsatz von Plasten überall im Wachsen begriffen. Im Bauwesen der DDR wurden 1972 etwa 60 kt Plaste gegenüber 80 Mill. t silikatischer Werkstoffe verbraucht. 1985 werden es zwar schon 200 kt Plaste sein, aber an dem gewaltigen Übergewicht der silikatischen Werkstoffe wird sich – wie auch in allen anderen Ländern – bis auf weiteres nichts än-

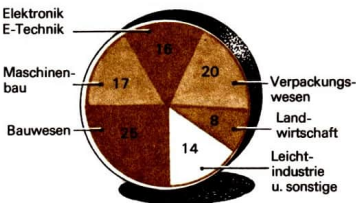


Plastsortiment der Länder USA, UdSSR und DDR 1975 mit relativer Entwicklungstendenz (Pfeile).

dern. Dessenungeachtet können Plaste im Bauwesen, sofern man sie nur an der richtigen Stelle einsetzt, große Vorteile bringen.

Durchgehend eingefärbte Fenster aus schlagfestem PVC sind ebenso wie nahtlos mit PVC ummantelte Holzprofile selbst gegen die aggressivste Industriatmosphäre beständig und obendrein auch noch völlig wartungsfrei.

Plastanwendung im Jahre 1980.





Dieses Bad in Schkopau könnte nur im Sommer genutzt werden, wenn man es nicht im Winter mit einer heizbaren Traglufthalle aus Polyamidnähe-wirk überspannen würde.

wegfallen. Die erforderlichenfalls glasfaser-verstärkten Leitungen können zur Beförderung von Gasen bei Drücken bis zu 15 bar ebenso dienen wie zum Transport von korrosiven Chemikalien. Als Baustoffe werden PVC, Polyester, Polybutylen, Polyäthylen und Polypropylen eingesetzt.

Die zunehmende Anwendung vorgefertigter Betonteile im modernen Hochbau hat zur Folge, daß die wenigen Dehnungsfugen relativ große Bewegungen aufnehmen müssen. Von der Plastchemie werden dafür geeignete Fugenmassen (z. B. Polyurethane, Silikone, Akrylate, Epoxidharkombinationen) bereitgestellt. Die größte Bedeutung für derartige Zwecke werden aber Thioplaste gewinnen. Mit ihnen lassen sich nicht nur Fugen an Stahl-

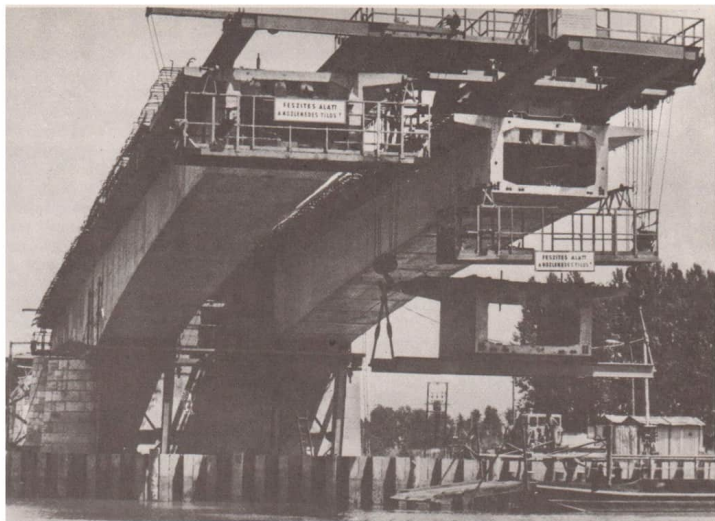
PVC-Hartschaumrohre eignen sich bestens für Wasser- und Abwasserleitungen. Dabei ersetzt 1 t PVC 4 t Stahl. Durch Nachchlorieren und radioaktive Bestrahlung kann PVC jetzt kochfest und alterungsbeständiger gemacht werden. Deshalb sind PVC-Rohre künftig auch für den Bau von Warmwasserleitungen verwendbar.

Anstriche entfallen, die Fenster verrotten, quellen und vergilben nicht. Und schon gibt es in einigen Ländern auch Kunststoffbretter aus angeschäumten Kopolymerisaten von Äthylen-Propylen-Kautschuk und Polystyrol oder auch aus anderen Plasten. Da sie wetterfest sind, finden sie nicht nur innen, sondern ebenso für alle möglichen Außenbauzwecke (wie Garagentore, Zäune, Balkonverkleidungen usw.) eine vielseitige Verwendung.

Insbesondere aus schwer entflammbarem, witterungsbeständigem Akrylglass stellt man zunehmend Lichtplatten und Lichtkuppeln her, mit denen dauerhafte, großflächige Verglasungen ausgeführt werden können.

Auch im Rohrleitungsbau nehmen Kunststoffe immer mehr an Bedeutung zu, weil vor allem jegliche Korrosionsschutzmaßnahmen





Brückenmontage auf neue Art! Die 27 t schweren Betonelemente einer 224 m langen Brücke über den ungarischen Fluß Korös wurden vorgefertigt und dann mit Epoxidharz zusammengeklebt.

und Leichtmetallfassaden sowie auf Brücken und Flugzeugrollbahnen abdichten, sondern auch Fugen, die ständig unter Wasser stehen (z. B. in Schwimmbecken).

An all diesen Kunststoffdetails gehen die meisten Leute mehr oder weniger achtlos vorüber. Wenn aber ganze Häuser, und seien sie noch so klein, aus Plasten gebaut werden, dann interessiert das viele. In der Tat läßt die immer reichhaltiger werdende Palette von Plastikwerkstoffen für derartige Anwendungen zahlreiche Vorteile erwarten. Das galt in beschränktem Umfang schon für die im August 1946 auf einer Berliner Ausstellung gezeigten Kunststoffhäuser aus Igelit, Lignostone und anderen unkonventionellen Werkstoffen. Gegenüber einem gleichgroßen

gemauerten Haus lag damals der Preis um 30% höher, das Gewicht betrug aber nur ein Vierzigstel. Heute gibt es zahlreiche avantgardistische Entwürfe und Modelle, die sich z. T. durch einen beachtlichen Gebrauchswert auszeichnen. Einstöckige Kunststoffhäuser können mit nur zwei Grundkörpern, nämlich je einem Wand- und einem Dachelement, aufgebaut werden. Die 8 bis 10 cm dicken Wände bestehen aus einer doppelschaligen Polyester-Glasfaser-Konstruktion mit einem Kern aus Kunststoffhartschaum. Isoliertechnisch entsprechen sie einer 1,3 m dicken Ziegelmauer. Kälte, Hitze und Schall werden also hervorragend beherrscht. Freitragende Polyesterdachkonstruktionen ermöglichen große Spannweiten, so daß die Notwendigkeit stützender Innenwände entfällt. Die Wohnfläche wird demzufolge als Ganzes nutzbar und lediglich durch bewegliche Schrank- oder Schiebewände variiert. Mit nur 40 Bauteilen kann ein solches Haus in weniger als zwölf Stunden aufgebaut werden.

Die wesentlichen Hemmnisse, die – abgesehen von den Kosten – heute noch einem ausgedehnten Plasteinsatz in der Bauindustrie im Wege stehen, sind Probleme der Festigkeit, Brennbarkeit sowie der Alterungs- und Witterungsbeständigkeit. Sie könnten etwa Mitte bis Ende der 80er Jahre überwunden sein. Trotzdem ist nicht zu erwarten, daß man im nächsten Jahrzehnt Plastkonstruktionen ausführen wird, die größere Nutzlasten zu tragen vermögen. Dagegen werden nichttragende und selbsttragende Bauteile immer mehr auch aus Kunststoffen bestehen.

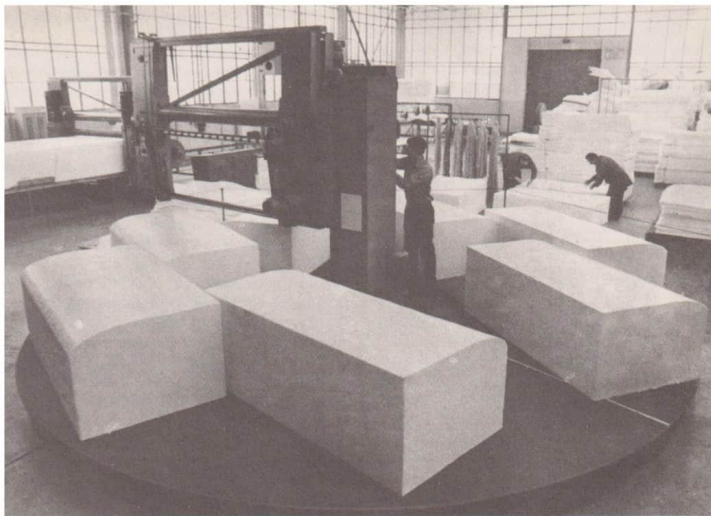
Ein durchschlagender Erfolg der Plaste im Bauwesen setzt voraus, daß die vergleichsweise hohen Preise durch wirtschaftliche Konstruktionen mit besseren Gebrauchseigenschaften kompensiert werden. Daß man dies bis zur Jahrtausendwende erreichen wird, daran gibt es beim optimistischeren Teil der Plastfachleute nicht den geringsten Zweifel. Manche meinen sogar, der Einsatz von Kunststoffen sei überhaupt die einzig gangbare Lösung, um die stürmisch anwachsende Weltbevölkerung (1975 etwa 4 Mrd., 2000 aber vielleicht schon 6,5 Mrd.!) in billigen Häusern unterbringen zu können. Sie empfehlen dazu, auf den Baustellen große Plastezellen zu Wohnblöcken übereinanderzustapeln. Diesen Vorstellungen entsprechen etwa die heute schon existierenden Stahlskelettbauten mit eingeschobenen Kunststoffwänden, die im Grunde nichts anderes als stählerne Regale mit Wohnungsschubladen sind. Bereits zwischen 1966 und 1969 wurden in London versuchsweise zwei Hochhäuser dieser Art mit je 21 Stockwerken errichtet. Inzwischen gibt es Kunststoffhochhäuser auch in anderen Städten, z. B. in Paris und Brüssel. Das praktisch pflegefreie Glasfaser-Polyester-System hat sich jedoch ebenso gut in Werksanlagen, Hotels und öffentlichen Gebäuden bewährt. Trotzdem und ungeachtet manch extravaganter Entwürfe – besonders aus den westlichen Ländern – wird aber das reine Kunststoffgebäude für die nächste Zukunft mehr auf den Sektor des Freizeithauses und des Verkaufspavillons beschränkt bleiben, als daß es ernsthafte Chancen haben könnte, in den eigentlichen Wohnungsbau einzudringen.

Demgegenüber wird die Inneneinrichtung

der Gebäude auch zukünftig im Brennpunkt der Platanwendung stehen. Die schon bewährte Kunststofftapete aus PVC, die sich gut bedrucken und strukturieren läßt, ist beständig gegen Nässe und harte Beanspruchung. Beim Renovieren wird nur die Plasteschicht abgezogen, und zurück bleibt eine saubere Papierunterlage, die sofort wieder aufnahmebereit für eine neue Tapetenfolie ist. Eine 5 mm dicke Teppichtapete, bei der Millionen von Synthesefasern durch ein Trägergewebe geschossen wurden, hat sich als hervorragender Schallschlucker bewährt. Sessel aus aufblasbarem Plast, Beleuchtung durch elektrolumineszente Kunststoffplatten, die ihre Farbe wechseln können, Wand- und Deckenverkleidungen aus isolierenden Schaumstoffen, die nach dem Sandwichprinzip zwischen dünne Schichten aus Metall, Keramik, Preßholz oder Kunststoff eingelassen sind, neuartige Bodenbeläge, schwer entflammbare, schallschluckende Vorhang- und Möbelstoffe sowie viele andere Produkte aus haltbaren, pflegeleichten und dekorativen Kunststoffen werden nach und nach in unseren Gebäuden eine ganz neue Wohnatmosphäre entstehen lassen.

Natürlich wird auch die Möbelindustrie ein wichtiger Plastabnehmer bleiben, obwohl sich die enthusiastischen Prognosen aus der zweiten Hälfte der 60er Jahre nicht erfüllen werden. So war in den USA eine Erhöhung des Kunststoffanteils von 11 % im Jahre 1968 auf 80 % im Jahre 1978 vorausgesagt worden, und um die Jahrtausendwende sollten in der Möbelbranche gar nur noch 10 % Holz verwendet werden. Auch in der DDR hatte man schon für den Möbelbau der 80er Jahre einen größeren Plastanteil vorgesehen. Tatsächlich beträgt er heute noch nicht viel mehr als 2 %. Schaumpolystyrol und andere Materialien haben sich also gegenüber den preiswerten Holzwerkstoffen nicht durchsetzen können.

Wie schon an einigen Beispielen sichtbar gemacht wurde, bieten die Plastwerkstoffe ideale Möglichkeiten, das materialsparende Leichtbauprinzip zu realisieren. Zwar mögen viele mit dem Wort Schaum vielleicht nur Vorstellungen wie Schlagsahne oder Seifenblasen verbinden, Kunststoffschäume indes können ebenso gut hochelastische wie auch sehr feste Materialien sein.



Die Nachfrage nach Polyurethanschaumstoffen für die Polstermöbel- und Textilindustrie steigt.

Rund 50% aller Plastschaumstoffe werden heute aus Polyurethanen hergestellt. Ausgehend von der gleichen chemischen Reaktion, nämlich der Umsetzung einer Hydroxylgruppen enthaltenden Komponente mit einem Diisocyanat zum Polyurethan, ist es möglich, sowohl thermoplastische als auch duroplastische Massen herzustellen. Je nach Auswahl der Polyole und Zusatzstoffe gelingt es z.B., Schaumstoffe zu gewinnen, die für Polsterzwecke und als Futter für Winterbekleidung geeignet sind, oder aber harte Materialien, die hochwertige Isolierstoffe für Kühlschränke und anspruchsvolle Verpackungen abgeben. Dazwischen liegen die halbharten Produkte mit einem Einsatzspektrum, das vom Karosseriebau bis zur Schuhproduktion reicht. Extraharte »Struktur«schäume (Duomere) kann man zu großen Formteilen mit massiven

Randzonen aushärten, die besonders im Fahrzeug- und Möbelbau Anwendung finden. Das geradezu bühnenreife Reaktionsschaumgießen ermöglicht die material- und modegerechte Fertigung von Polyurethanteilen jeder Art. Wer Lust dazu verspürt, wird sich in der Zukunft vielleicht mit den raffiniertesten Stilmöbeln einrichten, und ein anderer mag seine vier Wände mit »Schnitzereien« und Reliefs schmücken, an deren Erwerb er nicht einmal im Traume denken könnte – wenn das nicht alles aus geschäumtem Kunststoff wäre!

Bei einer derartigen Variabilität darf es nicht verwundern, daß sich die Weltpolyurethanproduktion von 1970 bis 1975 auf 2,2 Mill. t verdoppelt hat. Davon sind 60% auf weiche und 30% auf halbharte und harte Schäume verarbeitet worden. Aber auch die Schaumstoffproduktion auf der Basis von Polystyrol (bisher ein Drittel aller Plastschäume), Polypropylen und Polyäthylen entwickelt sich expansiv. 1980 werden insgesamt 1,5 Mill. t erreicht sein. Besonders vielversprechende

Erzeugnisse hat man aus Polyäthylen niedriger Dichte ($< 100 \text{ kg/m}^3$) herstellen können. Diese Schäume haben eine feine, geschlossene Zellstruktur; sie sind weich und federn bei Stoßbeanspruchung nahezu vollständig zurück. In manchen Eigenschaften übertreffen sie sogar die bisher angewendeten Materialien. Deshalb sagt man ihnen für die Zukunft eine weite Verbreitung voraus. Das wird nicht nur aus ausgesprochen technischen Anwendungen betreffen, sondern z. B. auch den Sport. Hier gilt bekanntlich die Devise:

Höher, weiter, schneller!

Diese Forderung kann heute ohnehin nur noch mit Hilfe der Chemie realisiert werden.

Den Stabhochspringern gab sie den Glasfaserplastestab, mit dem bis dahin nicht für möglich gehaltene Sprunghöhen erreicht wurden. Etwa im Jahre 1971 kamen die umstrittenen Catapolestäbe aus den USA auf, bei denen das Polyester-Epoxidharz-Gemisch durch kurzfasrige Kohlenstoffekristalle verstärkt worden war. Gegen die damit erreichten Elastizitäten und Zugfestigkeiten bei gleichzeitig verringertem Gewicht nehmen sich die Glasfaserstäbe wie primitive Bambusstangen aus.

Würde der Stabhochspringer aus einer Weltklassehöhe von über 5,50 m in eine Sandgrube fallen, so hätte das die gleiche Wirkung wie ein Frontalaufprall mit einem Auto bei einer Geschwindigkeit von über 20 km/h. Heute aber nehmen meterdicke Schaumgummi- oder Plastschaumauflagen dem Sportler jede Verletzungssorge.

Skier wurden ursprünglich aus Hickory-, Eschen- oder Buchenholz gemacht. Erst in den 50er Jahren kamen synthetische Laufflächenbeläge auf. Ab 1960 nahm die Verwendung von glasfaserverstärkten Platten zu, und seit 1967 wird Polyurethanschaumstoff eingesetzt. Diese Materialien führten schließlich zum hochwertigen Vollkunststoffski, der mit geschuppten Polyäthylenlaufsohlen bei allen Schneebedingungen eine optimale Gleit- und Steigfähigkeit besitzt. Die Skier verkraften Unebenheiten von über 35 cm ohne jeden »Spitzensalat«. Sie sind völlig wartungsfrei und brauchen nicht gewachst zu werden!

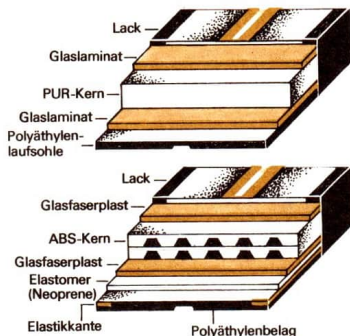
Sportboote aller Art werden heute fast nur noch aus Kunststoffen gebaut.

Beim Kegeln sagt man zwar immer noch »Gut Holz!«, aber die Kegel bestehen ebenso wie die Kegelkugeln schon lange aus Kunststoff.

Sattgrüner, gepflegter Rasen ist der Stolz eines jeden Platzmeisters, der darauf einen Großteil seiner Arbeitszeit verwendet. Aber schon gibt es »Ersatz«materialien aus Polyolefinen oder Polyamiden, die ihre Strapazierfähigkeit in großen Stadien und auf Tennisplätzen bereits vielfach unter Beweis gestellt haben und sich auf den ersten Blick vom Naturprodukt gar nicht unterscheiden lassen. Sie sind wasserundurchlässig, beständig gegen Hitze und Kälte sowie rutsch- und verrottungsfest. Die von den Skispringern für das Sommertraining benutzten Kunststoffmatten werden nach dem gleichen Verfahren gefertigt wie der »Rasen«, nur daß die Halme etwas länger bemessen sind.

Eine klassische Aschenbahn besteht aus einem Gemisch von gemahlener Koks-schlacke, Lehm, Sand und Humuserde, das auf einen speziell präparierten frostsicheren Untergrund aufgebracht wird. Solche Aschenbahnen sind teuer in der Anschaffung und in der Pflege. Mehr und mehr gibt man deshalb jenen Materialien den Vorzug, deren Hauptbestandteile Natur- oder Kunstharze sind. Zu den ersteren gehören die in den USA weitverbreiteten Grastexbahnen. Grastex ist eine spachtelartige Masse aus Naturharz, die mit einer absolut witterungsfest imprägnierten Matte aus Zuckerrohrfasern armiert wird. Um Grastex verlegen zu können, muß der Bahnunterbau jedoch wie bei der herkömmlichen Aschenbahn speziell ausgekoffert sein. Dieser besondere Unterbau ist bei Verwendung von Kunststoffbelägen nicht mehr notwendig, ein Vorteil, der allerdings durch die hohen Anschaffungskosten oft wieder verlorengeht. Dafür gelten aber diese Beläge als nahezu unverwüstlich, und sie sind für alle Laufarten und Wurfdisziplinen gleichermaßen gut geeignet. Außerdem können sie in verschiedenen Farben hergestellt und mit dauerhaften Markierungen versehen werden.

Bei den panamerikanischen Spielen 1967 in Winnipeg genehmigte die Internationale



Beispiel für den Einsatz von Chemiewerkstoffen im Sportgerätebau.

Oben: Loipe-Vollkunststoffski nach dem Sandwichprinzip (DDR). Unten: Vollkunststoffski nach dem »Sandwich-Luftprinzip« (BRD).

Leichtathletikföderation zum ersten Mal offiziell die Verwendung von Kunststoffen für Laufbahnen. Ein Jahr später erzielte der US-Amerikaner Bob Beamon auf einer solchen Bahn während der Olympischen Spiele in Mexiko-Stadt seinen phantastischen Weitsprungweltrekord von 8,90 m. Seitdem ist der Name »Tartan« zu einem Begriff geworden. Es handelt sich dabei um einen Polyurethan-Allwetterbelag. Das Material kann auf jedem festen Untergrund, gleich, ob aus Metall, Holz, Asphalt, Beton oder auch Sand (!), entweder flüssig aufgegossen oder in vorgefertigten Bahnen (wie Linoleum) selbstklebend verlegt werden. Es ist rutschfest, wasserundurchlässig und beständig gegen Öle und Fette. Seine Lebensdauer ist enorm. Weder Spikes noch die eisenbeschlagenen Hufe der Pferde verursachen Schäden. Selbst schwere Lastwagen vermögen den Tartanbelag nicht so schnell zu ruinieren. Kein Wunder also, daß inzwischen überall in der Welt zahlreiche Laufbahnen mit Tartan oder artverwandten Produkten (z.B. Recortan) versehen wurden. Ihre hervorragenden Eigenschaften machen sie auch zum Auslegen von Klubräumen und Mehrzweckhallen sowie als wasserundurchlässige Ver-

schleißschicht für Schiffsdecks, Terrassen und Tiergehege geeignet.

Schließlich gibt es auf unserem Erdball heute schon weit über 100 Sportplätze, die mit einem Bodenbelag auf der Basis von Nylon und Polyester versehen sind. In verschiedenen Ländern – so auch in der DDR – sind Sportbahnbeläge aus Synthesekautschuk mit z.T. sehr guten Eigenschaften entwickelt worden (z.B. Sprintan). Leider erfordern diese Produkte eine relativ aufwendige Herstellungs- und Verlegetechnologie. Es ist deshalb fraglich, ob sie sich auf die Dauer gegen die in der Zukunft noch stark anwachsende Polyurethankonkurrenz werden behaupten können.

Ein kontinuierliches Vordringen der modernen Chemiewerkstoffe ist auch im Auto-

Die Spitze des neuen Loipe-Vollplastski aus der DDR kann ohne Bruch sogar über eine Tischkante gebogen werden. Er ist für die Skitouristik ebenso geeignet wie für den Spezialisten.



mobilbau zu beobachten. Aber reicht das schon aus zur positiven Beantwortung der etwas provokatorischen Frage

Kommt das Kunststoffauto?

Es ist eigentlich noch gar nicht so lange her, als am 3. Juli 1886 unter dem herzlichen Lachen der behäbigen Kremserkutscher das erste selbstfahrende Autovehikel durch die holprigen Mannheimer Straßen rumpelte. Kaum 90 Jahre später hat das Automobil mit Hilfe von Chemie (Werk- und Treibstoffbereitstellung) und Technik (Werkstoffverformung und Konstruktion) schon die Grenze der technischen Perfektion erreicht. Die noch zu erwartenden Verbesserungen werden von den Chemikern kommen und neben den Treibmitteln besonders die Werkstoffe betreffen.

Der internationale Stand des Plasteinsatzes im Automobilbau lag im Jahre 1965 allerdings erst bei etwa 15 kg pro PKW. 1970 waren 25 bis 30 kg, also ungefähr 3 bis 4% des Gesamtgewichts, erreicht. Für die 80er Jahre wird mit etwa 10% des PKW-Gewichts ein gewisser Sättigungsgrad vorausgesagt. In den USA soll sich der durchschnittliche Plastverbrauch für ein Auto von 45 kg 1970 bis auf 90 kg im Jahre 1980 erhöhen. Extrapoliert man diese Entwicklung ohne weiteres in die Zukunft, so würde an der Jahrtausendwende ein Plasteinsatz von etwa 160 kg pro Automobil resultieren. Nach anderen Angaben sollen aber schon 1985 etwa 225 kg einsetzbar sein. Polyäthylen, PVC, ABS-Polymere und Polypropylen, das in Kombination mit Glasfasern und Asbest die höchsten Zuwachsraten im Kraftfahrzeugbau hat, werden dabei dominieren.

Den ersten Ansatzpunkt für die Plastausrüstung von Automobilen bietet die Innenausstattung. Sie wird bald schon im Ganzen aus Plastmaterialien hergestellt werden, indem man auf die Innenseite der Karosserie vielleicht einfach einen Schaumstoff aufspritzt. Die neuentwickelten Polyurethanweichschäume werden den Schaumgummi der Autopolsterungen vollständig verdrängen, weil sie schwer entflammbar und vor allem ohne Wärmezufuhr und ohne technischen Aufwand herstellbar sind.

Halbharte Polyurethanstrukturschaumtypen, die wie Blech knautschen und danach ihre alte Form wieder annehmen, lassen auch die Bemühungen der Fahrzeugbauer, Heck und Bug so zu konstruieren, daß sie bei einem etwaigen Zusammenprall einen Teil der Bewegungsenergie durch Verformung aufnehmen, sehr aussichtsreich erscheinen. Der Puffereffekt ist zwar nicht so stark wie beim Boxauto auf dem Rummelplatz, aber Zusammenstöße bei niedriger Geschwindigkeit werden schon recht gut aufgefangen.

In einem Punkt standen die Plaste hinter den Metallen noch bis vor wenigen Jahren zurück: Das war der schöne Metallglanz. Inzwischen aber können Plastwerkstoffe hergestellt werden, die das Aussehen beliebiger Metalle haben. Dies erreicht man, indem bei Drücken um 10^{-4} mbar ein Metall aufgedampft wird. Auch die alte Technik des Galvanisierens hat man auf Kunststoffe (insbesondere auf ABS-Polymere) anzuwenden gelernt, nachdem die Teile zuvor mit Chromschwefelsäure gebeizt und durch stromlose Einlagerung von Edelmetallpartikeln in die entstandenen Kavernen aktiviert worden sind. Die nur 1 µm dicken Metallschichten werden sodann mit einem Schutzlack überzogen, wobei sich zahlreiche Möglichkeiten der Farbuancierung bieten. Wenn entsprechende Ätzverfahren entwickelt worden sind, dürften später die meisten Thermoplaste auf Vinylbasis, aber auch Polyamide und Polyester galvanisierbar werden. Einige Autofirmen (z. B. Pontiac) produzieren schon seit Ende der 60er Jahre Stoßstangen aus Polyazetalen oder mit Nylon- bzw. Glasfasern verstärktem Polyester serienmäßig. Auch lassen sich Schutzgitter vor dem Kühler ebenso wie Zierleisten oder Kunststoffreflektoren für Autoscheinwerfer z. B. aus metallisierten ABS-Polymeren und zunehmend auch mit Polypropylen herstellen.

Benzinbehälter aus Polyäthylen oder glasfaserverstärktem Polyester (GFP) in platzsparender Gestaltung werden mit dem Metallkanister in Konkurrenz treten. Aus GFP lassen sich geräuschkindernde Auspufftöpfe herstellen, wie man sie z. B. in Schweden nutzt.

In der Erprobung befinden sich hochschlagfeste Autofrontscheiben aus Akryl- und Polycarbonatharzen, die durch Aufdampfen einer nur wenige tausendstel Millimeter dicken

SiO₂-Schicht, durch Lacküberzüge oder durch strahlenchemische Vernetzung so verbessert worden sind, daß sie selbst beim Dauerbetrieb trockener Scheibenwischer nicht mehr beschädigt werden. Zum Abdichten der Windschutz- und Heckscheibe wird man in wachsenden Maße spritzbare und kalthärtende Polysulfidmassen einsetzen.

Aber auch um den Motorbereich macht die Platanwendung keinen Bogen, denn schon werden bestimmte Teile durch wärmebeständige, im Spritzguß rationell verarbeitbare Thermoplaste mit verstärkenden Bestandteilen ersetzt. Neben Polyamid, das z. B. für Kraftstofffilter, Luftflügel und Pumpenmembranen verwendet wird, sind verschiedene Kleinteile aus Polyazetalharzen und aus duroplastischen Preßmassen in Form von Buchsen und Lagern im Gebrauch. Trotzdem werden Plaste beim Antriebsaggregat und Fahrwerk wohl immer nur eine untergeordnete Rolle spielen können.

Der erste in Serienfertigung hergestellte PKW der Welt mit einer Kunststoffkarosserie war unser »Trabant«. Mehrere Schichten Baumwollvliese wurden mit pulverförmigen Phenol- und Kresolfomaldehydharzen bei hohem Druck und geeigneter Temperatur in eine Form verpreßt. Inzwischen sind Jahre verstrichen, und der Trabant hat sich in seiner Hubraumklasse nicht zuletzt auch dank seiner unverwundlichen Kunststoffausrüstung als ein äußerst gebrauchstüchtiger PKW bewährt. Die Spötter sind verstummt, geblieben ist ein schadenfrohes Schwunzel der »Hutschachtel«besitzer über den verzweifelte Kampf der »Blechautofahrer« mit den hartnäckigen Eisenfressern Luft und Wasser.

Ein interessanter Karosseriewerkstoff ist auch GFP. Seine Festigkeit reicht an Stahl heran, was schon allein die Tatsache beweist, daß er sich beim Herstellen kugelsicherer Schutzwesten bewährt hat. Da GFP zugleich auch leicht ist (etwa ein Viertel von Stahl), könnte es mit diesem Material (oder aber mit der nächsten Generation faserverstärkter Thermoplaste, von denen das Polyamid am aussichtsreichsten scheint) möglich werden, das für einen wirtschaftlicheren Betrieb noch viel zu hohe Totgewicht der Metallautos auf etwa ein Sechstel zu senken und gleichzeitig die Gebrauchseigenschaften wesentlich zu

erhöhen, zumal es nach Belieben angefärbt und verformt werden kann. Heute allerdings ist die Polyesterkarosse vorerst noch auf einige Versuchswagen und Sportmodelle beschränkt (Beispiel: Wartburg-Melkus).

Ein funktionstüchtiges Vollplastauro der Farbenfabriken Bayer, BRD, wurde für Versuchszwecke aus harten Polyurethanschaumkörpern mit Deckschichten aus glasfaserverstärkten Epoxidharzen und aus ABS konstruiert, denn die Polyurethanschaum-Verbundbauweise verspricht viele Bedingungen zu erfüllen, die man an hochwertige Kraftfahrzeugwerkstoffe stellen muß. Trotzdem wird die Plastikkarosserie bis zur Jahrtausendwende noch keinen Durchbruch schaffen können, so daß die Blechautos auch weiterhin das Straßenbild beherrschen werden.

Vielleicht wird es manchen wundern, aber ein polymeres Material ist auch der Kautschuk. Sicher, er ist nicht mehr der Jüngste, aber gerade deshalb scheint es berechtigt, den Satz zu formulieren

Was wird mit dem Gummi?

Auf die Frage nach der charakteristischsten Eigenschaft dieses Materials kann wohl schon ein Vorschulkind die richtige Antwort geben. Sie besteht in einem hochelastischen Verhalten selbst bei gewöhnlicher Temperatur. Indessen kommt diese besondere Qualität heute nicht mehr nur dem Gummi allein zu, sondern ebenso vielen anderen Materialien, die man allesamt unter der einleuchtenden Bezeichnung Elaste (oder auch Elastomere) zusammenfaßt.

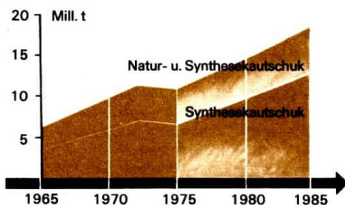
Noch am Anfang dieses Jahrhunderts stand für die Realisierung der Werkstoffeigenschaft »Elastizität« lediglich Naturkautschuk zur Verfügung. Man gewinnt ihn auch heute noch durch Anzapfen des brasilianischen Kautschukbaums, etwa in der gleichen Weise wie das Harz in unseren heimischen Kiefernwäldern.

Die Chemie bemächtigte sich des Kautschuks zum Zeitpunkt der ersten Vulkanisation durch Goodyear im Jahre 1841. Zusammen mit der Mastikation, d. h. der Plastifizierung des Kautschuks durch knetendes Bearbeiten, bildet sie auch jetzt noch das wich-

tigste Grundverfahren der Kautschukindustrie. Bei der Vulkanisation wird der in der Kälte brüchige und in der Wärme klebrige Rohkautschuk aus einem vorwiegend plastischen in einen überwiegend elastischen Zustand umgewandelt, indem die Makromolekülketten durch Schwefelbrücken miteinander vernetzt werden. Aus dem Kautschuk entsteht der Gummi.

Die Statistik der Weltkautschukerzeugung beginnt mit dem Jahre 1850, in dem eine Produktion von 1500 t ausgewiesen wurde. 50 Jahre später gaben die brasilianischen Urwälder dem Menschen schon 53 900 t Kautschuk preis. Im gleichen Jahr (1900) erschien mit einer Menge von 4 t der erste Plantagenkautschuk auf dem Weltmarkt, nachdem es den Engländern zuvor gelungen war, trotz des strikten Ausfuhrverbots der brasilianischen Regierung Samen und Stecklinge des Kautschukbaums aus dem Land herauszuschmuggeln und in ihren Kolonialländern Indien, Ceylon, Borneo und Malaya erfolgreich zu vermehren. Heute entstammt der weitaus größte Teil des Naturkautschuks (NK) den großen holländischen Plantagenbetrieben.

Im Jahre 1960 betrug der Weltkautschukverbrauch bereits 3,9 Mill. t, 1970 waren 7,8 Mill. t erreicht, und für das Jahr 1980 wird eine Menge von 13 bis 14 Mill. t prognostiziert. 1938 lag der NK-Anteil noch bei etwa 90%, 1970 schon bei 38%. Bis 1980 wird er voraussichtlich nur noch auf 35% absinken, denn der NK hat eine sehr günstige Ermüdungsbeständigkeit, die ihm auch in den kommenden Jahren noch spezielle Anwendungsgebiete sichern sollte. Aber NK ist nicht ölfest, nicht hitzebeständig und alterungsempfindlich. Dazu kommt die objektive Beschränkung der Produktion auf tropische Länder, während andererseits nahezu der gesamte Verbrauch auf die Industriestaaten der gemäßigten Zone konzentriert ist. Diese Gründe waren immer wieder Anlaß zu neuen Syntheseversuchen, und heute bietet die Vielzahl der Synthesekautschuk (SK)-Typen gegenüber nur einer NK-Sorte die günstige Möglichkeit, für jedes Einsatzgebiet das passende Material bereitzustellen, ein Vorteil, der auch durch die neuerdings möglich gewordene Eigenschaftsmodifizierung des NK mit-



Entwicklung des Weltkautschukverbrauchs seit 1965 mit Prognose bis 1985.

tels Pfropfung nicht aufgewogen werden kann. Im letzten halben Jahrhundert sind ungefähr zwölf Grundtypen synthetischer Elaste mit nicht weniger als 500 verschiedenen Sorten entwickelt worden.

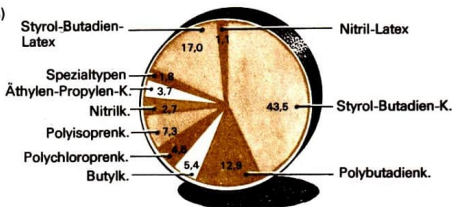
Bei dem etwa seit 1932 in Deutschland und in der Sowjetunion geschaffenen Buna-Kautschuk wurde anfänglich die Polymerisation des Butadiens mit Natrium durchgeführt, woraus auch der Name Buna resultiert. Heute sind die wichtigsten Elaste Misch- bzw. Kopolymerisate¹, die auch in Zukunft die besten Aussichten haben werden. Am aktuellsten sind Kombinationen aus Butadien und Styrol. Sie eignen sich bei einem Mischungsverhältnis von etwa 3:1 sehr gut für die Reifenproduktion und für die Beschichtung von Teppichrückseiten. Das Mischpolymerisat aus Butadien und Acrylnitril ist nicht nur alterungs-, hitze- und abriebbeständiger als NK, sondern auch resistent gegen Öle. Butylkautschuk hat eine sehr geringe Gasdurchlässigkeit und eignet sich deshalb besonders für Autoschläuche oder zur Innenauskleidung von schlauchlosen Reifen.

Durch stereospezifische Polymerisation² von hochgereinigtem Isopren unter Sauerstoff- und Feuchtigkeitsausschluß mit lithiumorganischen Verbindungen als Kataly-

1 Kopolymerisate (Mischpolymerisate): Polymerisationsprodukte, die bei der Polymerisation verschiedenartiger Grundmoleküle (z.B. Butadien und Styrol) entstehen.

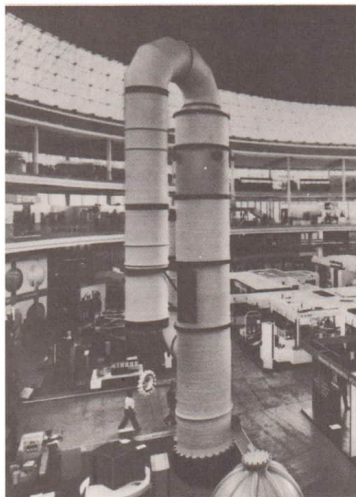
2 Stereospezifische Polymerisation: Polymerisationsreaktion, die zu räumlich geordneten Polymeren führt.

Struktur des Weltkautschuksortiments (%)
im Jahre 1980.



satoren (vergl. S. 114) gelang die vollständige Nachbildung des Naturkautschuks (cis-1,4-Polyisopren). Mit metallorganischen Katalysatoren kann man aber auch cis-1,4-Polybutadien, Äthylen-Propylen-Gummi und andere neuartige Elaste gewinnen. Bei den Stereokautschuken besteht die gute Abrieb-

Dieser 20-m³-Polymerisator zur Herstellung von Synthesekautschuk, der hier auf der Messe in Brno vorgestellt wird, entstand in Gemeinschaftsarbeit zwischen tschechoslowakischen und sowjetischen Spezialisten.



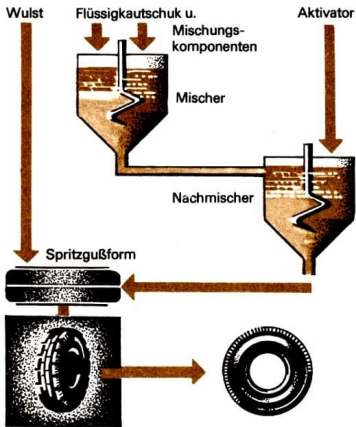
und Temperaturbeständigkeit. Sie haben hohe Zuwachsraten und eignen sich für Reifenlauf Flächen, Transportbänder und andere technische Anwendungen. Deshalb ist in den RGW-Ländern für diese Kautschuktypen ein besonders rasches Wachstum vorgesehen.

Polymerisate auf Dien- und Olefinbasis werden sich in modifizierter Form auch zukünftig als die wichtigsten Elaste mit niedrigem spezifischem Gewicht, großer Ozon- und Wetterbeständigkeit und hoher Elastizität behaupten. Bei Anwesenheit freier Doppelbindungen ist eine Kombination mit zahlreichen anderen reaktionsfähigen Stoffen möglich. Die Eigenschaften lassen sich auf diese Weise vielfältig abwandeln, was bisher nur wenig genutzt wurde. So ist zu erwarten, daß man thermoplastische Elastomere mit einer Temperaturbeständigkeit bis über 200°C entwickeln wird, die obendrein unbrennbar und beständig gegen Öle sein sollen. Mit Hilfe geeigneter Vernetzungsreaktionen werden Materialien entstehen, die weniger anfällig gegen bleibende Verformungen und vorzeitiges Altern sind.

Nach allgemeiner Auffassung wird sich der Gummi von morgen auf solche Synthesekautschuke stützen, die durch Lösungsmittelpolymerisation¹ gewonnen werden können. Dieser Prozeß ist einfacher als die klassische Emulsionspolymerisation², und

1 Lösungsmittelpolymerisation: Das Monomere wird in einem Lösungsmittel aufgelöst, in dem auch das entstehende Polymere löslich ist.

2 Emulsionspolymerisation: Bisher gebräuchlichste Form der Polymerisation, bei der das Monomere mit Hilfe eines Emulgators im Wasser emulgiert und das entstandene Polymerisat ausgefällt wird.



Eine Variante für die Zukunft ist die Reifenherstellung auf der Basis von Flüssigkautschuk.

man kann durch Steuerung von Kettenlänge und -verzweigungen zahlreiche interessante Sorten erhalten. Durch Begrenzung der relativen Molekülmasse auf Werte um 3000 bis 10000 erhält man flüssige und damit gießfähige Polymere, deren Formgebung außergewöhnlich einfach ist. Auch rieselfähige Pulverkautschuke lassen sich aus Natur- und Syntheseprodukten herstellen. Auf der Basis dieser Entwicklungen wird die Verarbeitungstechnologie der Elaste noch große Fortschritte machen.

Manche der heutigen Spezialelastomere aus der Silikon-, Fluorkarbon- und Polyurethanfamilie werden künftig vielleicht bis unter die Hauptprodukte vordringen. Silikonkautschuk hat zwar eine geringere Elastizität als NK, aber seine Eigenschaften sind im Bereich von -55°C bis 180°C nur sehr wenig von der Temperatur abhängig, und obendrein ist er physiologisch unbedenklich. Die homogenen und zelligen Polyurethanelastomere zeichnen sich durch hervorragende Abriebfestigkeit, gute chemische Beständigkeit und günstige Alterungseigenschaften aus. Es gibt

Produkte, die sich als thermoplastisches Granulat, und solche, die sich durch Gießen verarbeiten lassen. Ihre Einsatzgebiete liegen vorwiegend im technischen Sektor (Dichtungsmaterial, Faltenbälge, Puffer usw.), aber auch Teppichrückseiten werden damit beschichtet.

Rund 40% des Weltverbrauchs an Elasten entfallen auf eine sehr große Palette von Artikeln aus allen möglichen Einsatzgebieten. Technische und chirurgische Weichgummwaren halten dabei noch vor Gummisohlen, Transportbändern, Schuhwerk und Schläuchen aller Art die Spitze. Dazu kommt eine wachsende Zahl ganz spezieller Anwendungen.

So gibt es beispielsweise immer mehr Menschen, bei denen sich die bewegungsarme Tätigkeit und zu kalorienreiche Nahrung in verhängnisvoller Weise auf die Funktionstüchtigkeit ihres Herzens auswirkt. Nicht selten könnte noch ein Herz »aus der Retorte« helfen. Dazu braucht man äußerst haltbare Werkstoffe, denn das Menschenherz schlägt millionenmal im Jahr. In den USA hat man ein Kunstherz konstruiert, dessen Innenwände aus Naturkautschuk bestehen, während die äußeren Schichten aus halbharten Polyurethanelastomeren hergestellt werden. Es wurde sogar ein synthetischer Kautschuk entwickelt, der ähnlich wie das menschliche Blutgefäßsystem bioelektrische und gerinnungsverzögernde Eigenschaften besitzen soll. Mit dem Einsatz vollelektronisch gesteuerter Plastorgane (wie z.B. dem mechanischen Herzen) ist aber frühestens gegen Ende der 80er Jahre zu rechnen.

Aus dem größten Teil aller Elaste, nämlich aus rund 60%, werden Bereifungen hergestellt. Angesichts der noch immer zunehmenden Flut von Automobilen sowie Kraft- und Fahrrädern aller Art kann dieser Anteil möglicherweise sogar noch wachsen.

Reifen wird man im Jahre 2000 in automatisierten, computergesteuerten Anlagen produzieren. Den Gummi könnte man entweder in Formen spritzen oder besser noch mit Hilfe von Extrudern zu Profilen verformen, die dann in Reifen zerlegt werden. 1970 wurden erstmalig mit Lösungsmittel-Butadien-Styrol-Kautschuk, Glasfasern und Siliziumdioxid in Formen gegossene kordlose Reifen

produziert. Wenn sich derartige Reifen durchsetzen würden, brauchte man keine textilen oder sonstigen Einlagen mehr, und das Problem »Diagonal- oder Radialreifen« gehörte der Vergangenheit an. Bei einem Durchschlag gäbe es keinen »Plattfuß«, so daß man getrost noch 100 km bis zur nächsten Reparaturwerkstatt fahren und damit auch das fünfte Rad im Kofferraum sparen könnte. Ein 1975 in Österreich herausgebrachter, völlig homogener Polyurethanautoreifen, der weder Stahlgürtel noch Textileinlagen enthält, soll haltbarer, billiger und ein Drittel leichter als ein kon-

Entwicklung von Polyurethan-Schaumstoffsystemen für Schuhsohlen. Auf einer Ledersohle kann man 800 km laufen – wenn vorher nicht die Schuhnähte reißen oder das Oberleder platzt. Eine Sohle aus Synthesegummi hält 2000 km, und mit neuartigen Plastesohlen kann man sogar 3000 km zurücklegen.

ventioneller Gummireifen sein. Der Gesamtabrieb auf 10000 km beträgt nur 0,6 mm. Mit diesem Reifen werden Laufleistungen von weit über 100000 km erwartet. Auch wenn die gesamte Luft entweicht, behält er seine Form bei. Wer weiß, ob man nicht in der Zukunft vielleicht sogar Reifen entwickeln kann, die mit der Felge gleich eine Einheit bilden!

Ein Material, das nicht selten gemeinsam mit dem klassischen Gummi verarbeitet wird und ihm oft sogar ähnelt, obwohl es eine ganz andere Herkunft hat, ist das Leder. Im Jahre 2000 wird man auf der Erde mindestens achtmal soviel Schuhe brauchen wie 1950, und dazu kommen noch viele andere Anwendungsgebiete. Diesen Bedarfszuwachs kann selbst die intensivste Landwirtschaft nicht mit Tierhäuten abdecken. Aber das ist auch nicht nötig, denn inzwischen ist schon die Chemie in die Bresche gesprungen. Syntheseleder bestanden zuerst aus einem mit



Plast beschichteten Gewebe, die neueren Typen stellen gewöhnlich ein dreischichtiges Laminat mit einem Polyurethanschäumkern und Deckschichten aus Vinyl- oder Akrylpolymeren dar. Produkte dieser Art sind im Griff und im Aussehen von Leder oft kaum noch zu unterscheiden. Schuhe, die ein »poromeres« Obermaterial besitzen, zeichnen sich durch geringe Masse aus und sind pflegeleicht. Sie behalten ihre Form auch nach längerem Tragen bei, und das heißt für den geplagten Fußgänger, daß auch keine Gehfalten mehr entstehen.

Die Synthetikanteile bei Schuhen schwanken heute zwischen 30 und 50 %, bei Stiefeln erreicht man sogar 70 %. Natürlich sind darin auch Sohlen mit einbegriffen, zumal Polyurethansohlen einfach angeschäumt werden können. Das in der UdSSR für diese Zwecke entwickelte Polymenthol bindet Kohlendioxid- und Sauerstoffmoleküle aus der Luft. Dadurch könnte der merkwürdige Zustand eintreten, daß die Schuhsohlen beim Laufen nicht etwa dünner, sondern dicker werden!

Sogar für das Bekleidungs-gewerbe sind die hochelastischen oder lederartigen Chemiewerkstoffe schon erschlossen worden. Zwar werden sie dort immer nur auf spezielle Sortimente beschränkt bleiben, aber die wesentliche Tendenz der modernen Textilindustrie symbolisieren sie doch recht gut. Sie heißt:

Bekleidung aus der Retorte!

Kleidung gehört zu den Grundbedürfnissen des Menschen. Der Bedarf ist angesichts der über 2 Mrd. unzureichend versorgten Menschen noch ungeheuer groß. Entsprechend dem Bevölkerungszuwachs von derzeit 4 Mrd. auf etwa 6,5 Mrd. Menschen im Jahre 2000 wird er weiterhin stark wachsen, zumal die Bürger in den Industrieländern ihre Kleidungsstücke (wie übrigens auch die Möbel) heute dreimal so oft wechseln wie noch vor 100 Jahren. Die daraus und aus dem Rückstand der Entwicklungsländer resultierenden Anforderungen an die Faserstoffproduktion können nur mit Hilfe der Chemie realisiert werden.

Zum ersten Mal halfen die Chemiker der

Textilwirtschaft, als sie vor etwa 180 Jahren Soda und Chlorkalk großtechnisch herstellten und so die Wasch- und Bleichprozesse revolutionierten. Mit dem nun billig zur Verfügung stehenden Chlorkalk konnte die Bleichdauer der Baumwolle von drei Monaten (bei Rasenbleiche) auf sechs Stunden verkürzt werden. Andererseits aber ermöglichte die jetzt stark aufblühende Textilindustrie als erster Großabnehmer für Chemikalien den Aufbau einer chemischen Industrie, die diesen Namen auch verdiente.

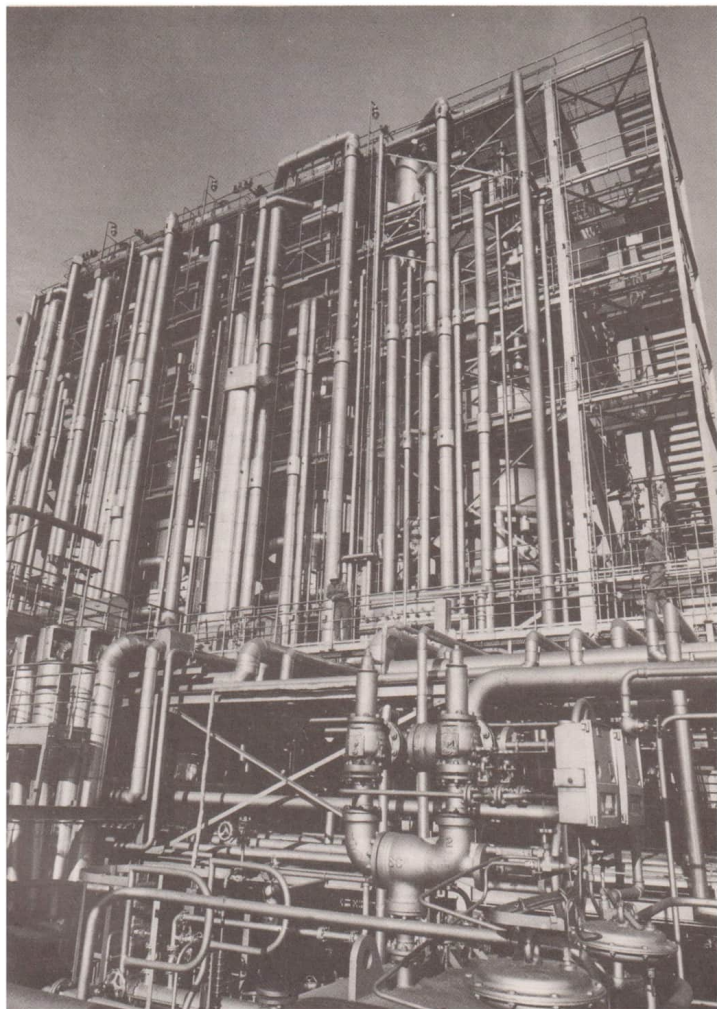
Eine weitere Großoffensive der Chemie wurde mit dem Erschließen der Teerfarbstoffe sowie zahlreicher Textilhilfsmittel in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts eingeleitet und gewonnen. Schon damals entfielen über die Hälfte der Herstellungskosten von Bekleidungserzeugnissen auf Chemikalien und chemische Prozesse.

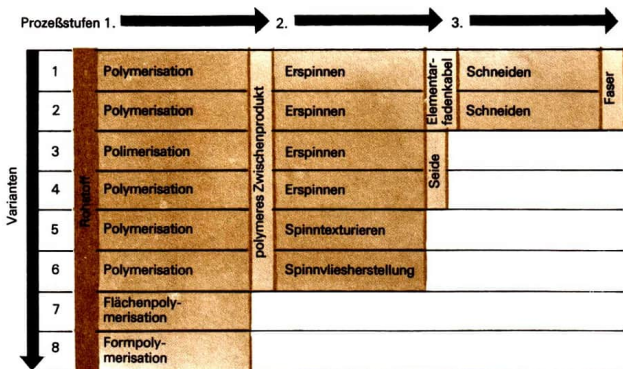
Die etwa mit dem Beginn des 20. Jahrhunderts einsetzende dritte Chemisierungswelle bescherte schließlich nicht nur neue Textilhilfsmittel, sondern vor allem auch die für die Bekleidung der rasch wachsenden Erdbevölkerung so dringend benötigten neuen Faserstoffe selbst.

Heute ist die Chemiefaserfamilie schon erfreulich gut entwickelt, und fast alle ihre Sprößlinge befinden sich noch im Wachstumsalter. Am weitesten fortgeschritten sind die »Großen Vier«, so werden die Fasern aus Zellulose (Viskose), Polyamid, Polyakrylnitril und Polyester von den Textilchemikern oft genannt. Man wird sie deshalb auch an der Jahrtausendwende noch an der Spitze finden.

Nahezu 50 % der zur Zeit hergestellten Fasern bestehen aus Materialien, die man vor 40 Jahren noch gar nicht produzierte. Es ist trotzdem nicht anzunehmen, daß man das noch im Jahre 2000 wird sagen können. Der in den letzten Jahren sichtbare Trend zur Entwicklung von Faserstoffen mit speziellen Eigenschaften (wie thermischer oder chemischer Beständigkeit), für die bisher nur ein Bedarf von einigen Dutzend oder Hundert

In dieser imposanten Chemieanlage entsteht ein wichtiges Ausgangsprodukt für die Herstellung von Polyesterfaserstoffen: Terephthalsäure.





Mögliche Prozeßstufeneinsparung bei der Herstellung von synthetischen Textilerzeugnissen nach Bobeth und Banke 1974.

Tonnen charakteristisch ist, wird allerdings auch künftig anhalten. Neue Faserstoffe im 100 000-t-Maßstab werden jedoch bis dahin wahrscheinlich nicht dazukommen. Das wird auch durchaus entwicklungsfähige Materialien betreffen, z. B. die leicht verspinnbaren Polyformaldehydfäden. Ebenso wenig werden sich Eiweißfasern im breiterem Umfang durchsetzen können, solange selbst in manchen fortgeschrittenen Ländern noch zu wenig Proteine für Nahrungszwecke vorhanden sind.

Vorteilhafter als durch die Entwicklung neuer Faserpolymeren sind bessere Eigenschaften nach Meinung der Fachleute durch eine Modifizierung der bekannten Grundpolymeren zu erreichen, weil dafür nicht nur umfangreiche Basiskenntnisse bereitliegen, sondern auch die herkömmlichen Produktions- und Verformungstechnologien genutzt werden können. Zur Lösung dieser Aufgabe bieten sich drei verschiedene Wege an:

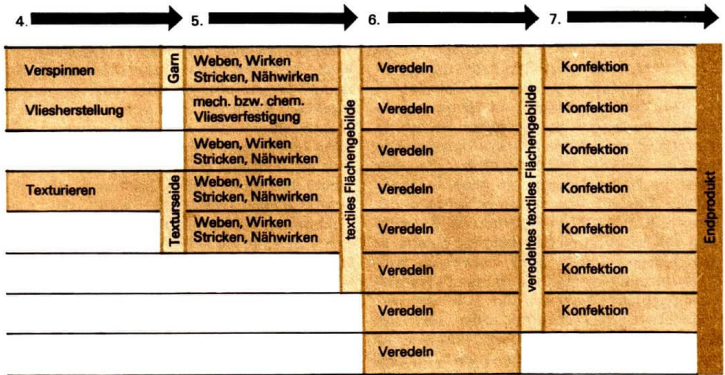
Einmal kann die Struktur der Grundpolymeren vor der Fadenbildung durch eine geeignete Kopolymerisation abgewandelt werden.

Zum zweiten läßt sich die Mischung zweier Polymeren zu Matrixfibrillenfasern verspinnen (Compoundierung). Die große Anzahl faserbildender Kunststoffe bietet dafür eine Fülle von Variationsmöglichkeiten, aber bisher wurde nur die Kombination Polyamid/ Polyester technisch realisiert.

Schließlich kann die Abwandlung der Faserstoffe chemisch oder physikalisch auch nach der Fadenbildung erfolgen.

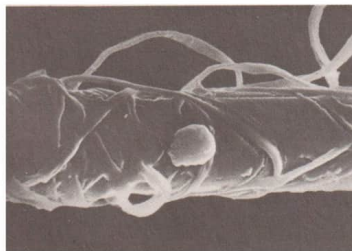
Eine chemische Modifizierung durch Pfropfpolymerisation oder Kombination mit niedermolekularen Verbindungen ist sowohl am Grundpolymeren als auch beim fertigen Faden oder Flächengebilde möglich. Solche Verfahren eignen sich gut zur Herstellung von »maßgeschneiderten« Produkten für spezielle Anwendungszwecke. So ist es gelungen, Zellulosefasern mit pilz- und bakterienwidrigen sowie auch mit blutstillenden und flammhemmenden Eigenschaften zu entwickeln. Da die aktiven Stoffe chemisch fixiert werden, bleibt beispielsweise die antimikrobielle Aktivität auch nach zahlreichen Wäschen erhalten. Im Vergleich zur Fülle der wissenschaftlich durchgearbeiteten Modifizierungsmöglichkeiten ist allerdings die Zahl der bekannt gewordenen Anwendungen bisher noch gering.

Für die Praxis um so wichtiger sind die zahlreichen Verfahren der Textilveredelung,



die mit Hilfe der Chemie bereits einen sehr hohen Stand erreicht haben. Ob es darum geht, reine Wolle mottenecht zu machen, das Einschrumpfen von Zellulosefasern beim Waschen zu verhindern oder das Material knitterfest auszurüsten – fast schon für jede Forderung halten die Chemiker eine akzeptable Lösung bereit. Für die Zukunft werden besonders permanente Veredelungseffekte angestrebt, die z. B. hydrophobe, hydrophile, antistatische, antimikrobielle,

Oberflächenstruktur einer hochfesten und temperaturbeständigen Faser aus aromatischem Polyamid unter dem Rasterelektronenmikroskop. Die Faser zeigt eine ausgesprochene Fibrillenstruktur.



schmutz- und ölabweisende sowie desodorierende Eigenschaften ergeben. Völlig unbefriedigend ist es, daß weit über 95 % der heutigen Textilgrundstoffe unter normalen Bedingungen brennen. Das Problem könnte mit einer Flammfestausrüstung der herkömmlichen Faserstoffe oder aber durch hitzebeständige Faserpolymeren gelöst werden, wobei die aromatischen und heteroaromatischen Produkte die besten Aussichten haben. Sie sind bei 250 bis 350 °C längere Zeit gebrauchsfähig, während graphithaltige Fasermaterialien, die man durch »Karbonisierung« organischer Faserstoffe (insbesondere von Regeneratzellulose und Polyakrylnitril) erhält, selbst noch bei 1000 bis 2000 °C verwendet werden können. Neuerdings ist es auch gelungen, hitzebeständige Faserpolymere durch Einschluß von Metallatomen in die Hauptkette zu entwickeln. Ein Titanpolyester mit Faserstruktur widersteht ohne größere Einbußen an mechanischer Festigkeit und Flexibilität selbst einer Erwärmung auf 1200 °C, wobei er allerdings über 20 % an Gewicht verliert.

Die meisten Textilfasern werden angefärbt. Nicht weniger als zwei Drittel der Farbstoffproduktion sind für diesen Zweck reserviert. Zu den wichtigsten Ergebnissen der Chemiker auf diesem Gebiet zählt die Entdeckung der Reaktionsfarbstoffe für Zellulosefasern im

Jahre 1954, die noch im gleichen Jahrzehnt auch technisch angewandt wurde. Erhebliche Schwierigkeiten verursachten dagegen lange Zeit die hydrophoben Synthesefasern. Besonders widerspenstig war das Polyakrylnitril. Um ein langsames und damit gleichmäßiges Aufziehen der basischen Farbstoffe zu erreichen, wurden in aller Welt kostspielige Retarder (Bremsmittel) eingesetzt, die aber leider auch die Leuchtkraft negativ beeinflussten. Deshalb war es ein entscheidender Fortschritt, als 1972 in Bitterfeld die Entwicklung von retarderfreien Farbstoffen gelang. In den letzten Jahren sind heterogen modifizierte Synthesefasern (z. B. aus Polyamid) herausgebracht worden, die sich mit verschiedenartigen Farbstoffen oder auch mit Farbstoffen der gleichen Verbindungsklasse unterschiedlich tief anfärben lassen, so daß man außerordentlich interessante Effekte erzielen kann.

Heute sieht es fast so aus, als ob die Chemiker nicht eher ruhen werden, als bis es ihnen gelungen ist, Farbstoffe zu entwickeln, die selbst den grauscheckigsten Paletot in einen strahlenden Mantel zu verwandeln gestatten. Mit der Umsetzung der angesammelten Kenntnisse mangelt es aber noch ein bißchen. Das liegt jedoch nicht an der guten Mutter Chemie, sondern an ihren Adepten. Der kluge Colbert schon unterteilte in einem Gesetz die Farbstoffleute schlicht in Seidenfärber, Schönfärber und Schlechtfärber. Das war im Jahre 1669. Fast scheint es aber, als ob

die Schlechtfärber¹ immer noch nicht ausgestorben sind!

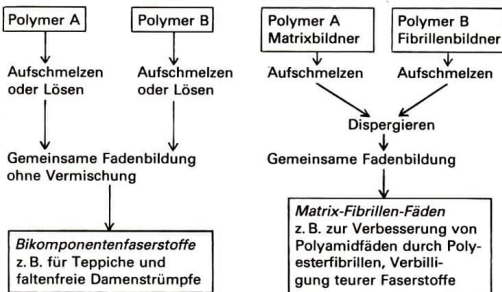
Betrachtet man die Gesamtfaserbilanz der Welt, so wird man feststellen, daß die Zellulosematerialien mit 56% nach wie vor die absolute Mehrheit besitzen. Aus gutem Grund! Baumwolle und Viskosefasern sind billig und haben viele attraktive Eigenschaften. Ihr hydrophiler Charakter macht sie zu einem idealen Mischungspartner für die vollsynthetischen Faserstoffe, wofür die aussichtsreiche Kombination mit Polyester ein gutes Beispiel ist. Andererseits hat die Zellulose besonders in der Polyamidseide schon seit Jahren eine Rivalin bekommen, die sie z. B. aus der Damenstrumpfindustrie total verdrängt hat. Obwohl der Rohstoff immer wieder nachwächst, ist deshalb bei der Viskosefaser mit einer wesentlichen Produktionsverweiterung nicht mehr zu rechnen.

Von den Zellulosederivaten traut man nur der Azetatseide ein gewisses Wachstum im Weltmaßstab zu. Ihre Knitterarmut und leichte Waschbarkeit in Verbindung mit ihrem eleganten Aussehen macht sie noch immer zu einem geeigneten Material für Brokatroben und raschelnde Taftthüllen.

Der Hauptteil der zu erwartenden Textilexpansion wird ohne Zweifel auf die vollsynthe-

1 Die Colbertschen Schlechtfärber waren nicht schlechter als die Schönfärber. Sie verwendeten nur andere, im Gesetz fixierte, meist weniger »echte« Farbstoffe.

Tabelle 9. Verbesserung der Fasereigenschaften durch Verbundbildung

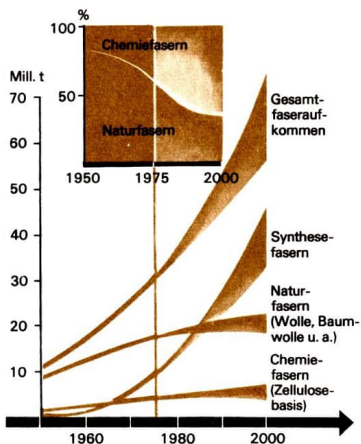


tischen Faserstoffe entfallen, insbesondere auf Polyamide, Polyester und Polyakrylnitril. Im Jahre 1950 betrug der Synthefaseranteil am Weltfaseraufkommen nur 0,2%, 1970 waren es bereits 22%. 1980 werden sie etwa 39% aller Faserstoffe (davon 15% Polyester, 13% Polyamid, 7,5% Polyakrylnitril und 3,5% Spezialfasern) ausmachen. Bei Gardinen und Bodenbelägen werden die Synthetiks absolut dominieren. Ähnliches gilt auch für den technischen Sektor, der in den nächsten drei Jahrzehnten auf mindestens 50% des Faserstoffverbrauchs expandieren wird. Die Massenproduktion hochfester Kordfäden aus Polyamid, Polyester und auch noch aus Viskose wird weiterhin ansteigen, solange sich kordlose Reifen nicht durchsetzen können.

Plastbeschichtete Gewebe sind praktisch unzerreißbar und haben deshalb im Verpackungswesen gute Aussichten. So lassen sich für den Seetransport von Erdöl, Trinkwasser und anderen Flüssigkeiten vinylbeschichtete Perlongewebe zu 75m langen Blasen verarbeiten, von denen mehrere zugleich an ein Schiff angehängt werden können.

Für Bekleidungszwecke haben die Synthefasern bisher noch nicht jene komplexen Eigenschaften erreicht, die man sich wünscht. Trotz Bauschung, Veredlung und Modifizierung wird ihr Einsatz durch die ungenügende Feuchteaufnahme, die elektrostatische Aufladung und das ungünstige Anschmutzverhalten begrenzt. In den kommenden Jahrzehnten hofft man diese Mängel entweder durch Pfropfen oder mit geeigneten Fasermischungen ausgleichen zu können. Überhaupt werden Fadenkombinationen aller Art auf textiltechnologischem Gebiet steigende Bedeutung erlangen. Ein universell anwendbares Material wird zwar auch dabei nicht herauskommen, aber auf jeden Fall steht dann für jeden Zweck die »richtige« Faser oder Fasermischung zur Verfügung. Und sicherlich wird es auch eines Tags möglich sein, flächen- oder formpolymerisierte Fertigerzeugnisse direkt aus den Monomeren herzustellen.

Also werden wir uns in der Zukunft anstatt in gewebte Textilien vielleicht einfach in »Folien« hüllen? Derartige »Folienfaserstoffe« aus Polyester und Polyamid sind auch in der DDR bereits entwickelt worden. Es handelt sich um Flächengebilde, die durch physiko-

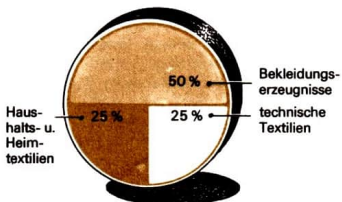


Entwicklung der Faserstoffproduktion im Weltmaßstab nach verschiedenen Angaben.

chemisches Fibrillieren von Polymerfolien bzw. Einlagern von Molekülen entstehen, die eine Abschirmwirkung herbeiführen können. Sie lassen produktionstechnisch mancherlei Vorteile erwarten. Deshalb ist auf diesem Gebiet noch mit erheblichen Aktivitäten und vielleicht auch mit beachtenswerten Fortschritten zu rechnen.

Als eine vorwärtsweisende textiltechnologische Neuerung der Nachkriegszeit sei

Prozentualer Verbrauch an textilen Faserstoffen in den 70er Jahren.





Herstellung von Plastfolien nach dem gegenwärtig sehr häufig angewandten Extrusionsblasverfahren. Dabei wird durch eine Ringdüse zunächst ein Schlauch ausgepreßt, den man sodann kontinuierlich bis zur gewünschten Foliendicke aufbläst. Anschließend wird der Schlauch aufgeschnitten und nach dem Breitlegen als Flachfolie aufgewickelt.

schließlich die Spinnvliestechnik hervorgehoben. Dabei wird das geschmolzene Granulat eines thermoplastischen Kunststoffes durch Spindüsen gepreßt. Die Fäden werden zunächst stark verstreckt, dann aber nicht mehr verwebt, sondern verschweißt oder auch mit wäßrigen Polymerdispersionen verklebt. Die Vielzahl der vorhandenen Bindemittel gestattet eine weitreichende Variation der Eigenschaften. Die entstehenden Spinnvliesstoffe gewinnen mehr und mehr als Trägermaterial für Teppichböden und Synthesleder sowie für pflegeleichte und äußerst knitterbeständige Oberbekleidung an Bedeutung.

Chemiefasern werden heute erst in etwa

einem Drittel aller Länder der Erde produziert und im wesentlichen auch verbraucht. Nur 15% der Weltbevölkerung in den kapitalistischen Industriestaaten konsumieren 40% aller Fasern, darunter 60% der Chemiefasern. Demgegenüber haben drei Viertel der Erdbevölkerung in den schwach entwickelten Gebieten weniger als ein Drittel aller Textilmaterialien zur Verfügung.

1970 verbrauchte jeder Erdenbürger im Durchschnitt 7 kg Fasern aller Art. Der Pro-Kopf-Verbrauch in den technisch entwickelten Ländern lag bei 12 bis 16 kg, in den wenig erschlossenen Gebieten bei 2 bis 3 kg. Nach sowjetischen Schätzungen hat ein Anstieg des Bruttonationaleinkommens um 1% eine durchschnittliche Steigerung des Faserkonsums um 0,6% zur Folge. Für das Jahr 2000 wird ein Verbrauch von 9 bis 12 kg Fasern pro Kopf mit einem maximalen Chemiefaseranteil von 70% vorausgesetzt.

Das Gesamtfaserstoffaufkommen soll an der Jahrtausendwende zu etwa 70% aus Fasern (besonders Viskose, Polyester und Polyakryl) und zu 30% (heute weniger als 20%) aus Endlosfäden (besonders Polyamid und Azetat) bestehen. Bei Synthetika wird ein Verhältnis von etwa 50:50 erwartet.

Wir sahen, daß die Textilperspektiven der Zellulose und damit natürlich auch des Holzes begrenzt sind, was allerdings nicht bedeutet, daß man sich um ihre nutzbringende Anwendung schon Sorgen machen müßte. Trotzdem wird manchmal etwas skeptisch die Frage gestellt:

Wie lange ist eigentlich Holz noch modern?

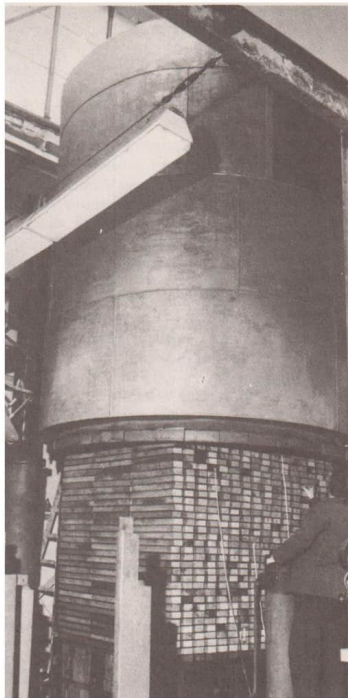
Die bisher praktizierten Hauptlinien der Holzverwertung zielen auf die Erzeugung von Schnittholz für die Bauindustrie (insbesondere zum Einschalen von Betonkonstruktionen), von Plattenwerkstoffen für die Möbelbranche und das Bauwesen sowie von Zellstoff für die Papierindustrie (80%) bzw. die Chemiefaserherstellung (20%) hin. Das wird auch bis zur Jahrtausendwende so bleiben.

Es ist allbekannt, daß die Zellstoffindustrie ein chemischer Produktionszweig ist. Aber auch die Herstellung von Span- und Faserplatten wurde erst durch die Bereitstellung

billiger Phenol- und Harnstoffharzleime aus den Chemiefabriken möglich. Spanplatten werden heute im Weltmaßstab zu etwa 50 % und in der DDR sogar zu 85 % in der Möbelindustrie eingesetzt, der Rest geht ins Bauwesen. Ihre Eigenschaften lassen sich durch physikalische und chemische Maßnahmen in weiten Grenzen fächern, wobei zukünftig besonders die Ausrüstung mit schwer entflammaren Substanzen an Bedeutung gewinnen wird. Die breite Entfaltung der Möbelproduktion sowie der Bau von Wochenendhäusern wäre ohne die preiswerten, leicht zu bearbeitenden Plattenmaterialien auf Holzbasis undenkbar. Insbesondere wegen des nach wie vor stark zunehmenden Möbelbedarfs weist die Spanplattenerzeugung mit jährlichen Wachstumsraten um 12 % auch längerfristig eine steigende Tendenz auf.

Die sehr rasch weiter voranschreitende Expansion der Chemie führt zwar zu einem wachsenden Austausch von Holzmaterialien durch synthetische Produkte, aber sie eröffnet auch Möglichkeiten für die Entwicklung neuer Holzwerkstoffe. Das betrifft das Verbinden von Holzpartikeln verschiedener Form und Größe zu Platten und Profilen, das Gestalten der Plattenoberflächen, das Herstellen von Verbunden mit Kunststoffen, Metallen und anorganischen Materialien (Beispiel Holzbeton) sowie auch die chemische Modifizierung des Holzes selbst. Wie bereits im Zusammenhang mit den Aussichten der Strahlenchemie erwähnt wurde, sind in den letzten 20 Jahren besonders die Holz-Polymer-Werkstoffe untersucht worden, deren industrieller Einsatz sich vorerst noch auf hochwertige Sportartikel und strapazierfähiges Parkett beschränkt.

Für die Einflußnahme der Chemie auf die Holzverwertung ist weiterhin charakteristisch, daß zunehmend geringwertiges Holz und sogar Abfälle genutzt werden. Während ursprünglich nur kompaktes Schnittholz verarbeitet werden konnte, wurde mit der Spanplatte auch bis dahin nicht einsetzbares dünneres Holz verwertbar, wobei man zur Erzielung bestimmter Spanqualitäten noch gewisse Anforderungen an das Ausgangsmaterial stellen muß. Dagegen ist es in der Faserplatten- und Zellstoffproduktion möglich, Pflanzenmaterial fast jeder Art zu verarbeiten. Ja, es gelingt sogar, Zellstoffe aus



Die Chemie bietet interessante Möglichkeiten zur Entwicklung neuer Holzwerkstoffe. Durch eine Behandlung mit Ammoniak wird das Holz plastisch und kann danach zu einem festen Material verpreßt werden, das sich für hochbeanspruchte Formteile ebenso eignet wie als Geigenbauwerkstoff. Unser Bild zeigt eine Versuchsanlage im Chemiewerk Daleki in der CSSR.

den sehr stark fasergeschädigten Sägespänen zu erzeugen.

Die logische Fortsetzung dieser Tendenz wäre die Verarbeitung des Holzes in einer Produktionsvariante, bei der es nur noch als

chemischer Körper interessiert. Für eine langfristige Entwicklung in diesem Sinne sprechen gewisse Parallelen zu Kohle und Erdöl, deren Verwertung wie beim Holz zunächst mit der Nutzung als Brennmaterial begann. Sie verlagerte sich danach über einfache Sekundärstoffe weiter zu komplizierten Folgeprodukten, deren Herstellung das Zerlegen der Ausgangssubstanzen in einfachere chemische Grundbestandteile zur Voraussetzung hatte. Wenn die Erdölpreise weiterhin schneller als die Holzpreise steigen sollten, wäre für das Holz in manchen Ländern eine ähnliche Entwicklung denkbar. So gibt es Schätzungen aus den USA, wonach etwa 95% der Produktion an Plasten, Elasten und Synthesefasern dieses Landes (das waren 1974 immerhin 18 Mill. t) auf der Basis von knapp 60 Mill. t Holz, insbesondere über die Zwischenprodukte Äthylen, Butadien und Phenol, realisiert werden könnten. Das entspräche etwa derselben Menge, die 1970 von den amerikanischen Sägewerken in Form von Abfällen »produziert« wurde. Bei einer solchen Entwicklung würde das Holz in der Zukunft also nicht mehr nur Baumaterial- und Papierlieferant sein, sondern auch als chemischer Rohstoff für die Gewinnung von Kunststoffen, Furfural, Phenolen, Textilien, Treibstoffen, Zuckern, Eiweiß, Vitaminen und anderen Produkten von Bedeutung werden. Aus 100 kg Holz ließen sich beispielsweise 20 Liter Alkohol, 22 kg Futterhefe oder 12 kg Äthylen herstellen. Da sich die pflanzlichen Materialien von den fossilen Kohlenstoffträgern vor allem durch ihren großen Sauerstoffanteil unterscheiden, sollte man in jedem Falle versuchen, die von der Sonne bereits geleistete Synthesearbeit ebenso wie den hohen Aromatenanteil maximal auszunutzen.

Die aufgezeigten chemischen Verwertungsmöglichkeiten bedingen wie auch die Zellstoffproduktion eine Trennung der Kohlenhydratkomponente vom aromatischen Ligninanteil. Vielleicht aber werden sich in der Zukunft auch Möglichkeiten zur Gewinnung völlig neuartiger Holzplastiks erschließen lassen, bei denen die aufwendige und verlustreiche Zerlegung des Ausgangsmaterials zu umgehen ist.

Nur der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, daß diese Überlegungen natür-

lich auch für alle anderen assimilatorisch erzeugten Biomassen gelten, insbesondere für Stroh, Schilf und Bagasse, die man in zunehmendem Maße zur Faserstoffherstellung verwendet. Aber nicht deshalb, sondern wegen der großen Fortschritte der Chemie ist es berechtigt zu fragen

Papier in der Zukunft – woraus und wofür?

Als im Jahre 105 der Pekinger Hofbeamte Tsai Lun aus den Fasern von Hanf, Flachs und Lumpen zum ersten Male Papier erzeugte, konnten wohl selbst die phantasievollsten Berater des langbärtigen Kaisers nicht voraussehen, was aus dieser Erfindung noch alles werden würde. Heute, nach 1870 Jahren einer wechselvollen Geschichte, ist Papier nicht nur zum Dreh- und Angelpunkt einer riesigen Industrie, sondern in einigen Ländern merkwürdigerweise auch zum Inbegriff des Wertlosen schlechthin geworden. Das war jedoch keineswegs schon immer so. Montezuma, der letzte Aztekenkaiser, hielt beispielsweise ständig eine halbe Million Blatt Papier als Staatsreserve und Kapitalanlage am Lager. Allerdings mußte damals das Papier noch in mühsamer Handarbeit aus Baumrinde und Naturgummi gewonnen werden. Heute dagegen nähert sich die Weltproduktion an Papier, Karton und Pappe der 190-Mill.-t-Grenze, und fast die Hälfte davon wird in den USA erzeugt. Allein die Sonntagsblätter haben dort solche Ausmaße angenommen, daß man zu sagen pflegt: »Man muß sie mit dem Schubkarren nach Hause fahren«.

Aber in den meisten Ländern wird die Entwicklung nicht den von den USA vorgezeichneten Weg der Verschwendung nehmen. Trotzdem sind die Produktionsziffern der Papierindustrie bei durchschnittlichen jährlichen Zuwachsraten zwischen 3 und 4% überall noch im Steigen begriffen, obwohl das Papier schon mit dem Aufkommen von Telefon, Rundfunk und Fernsehen seine absolut dominierende Rolle als Kommunikationsmittel eingebüßt hat. Ob daraus aber, wie manche meinen, für die Zukunft ein Rückgang der Papiererzeugung abgeleitet werden darf, ist mehr als fraglich. Auch die Behauptung, daß das Büro der Zukunft ohne Papier auskommen

und durch Datenverarbeitungsanlagen und Mikrofilm einschließlich papierloser elektronischer Sachbearbeitung bestimmt sein wird, kann bisher durch nichts bewiesen werden. Im Gegenteil, EDV-Anlagen benötigen große Mengen Spezialpapier für die Eingabe der Daten und das Ausdrucken der Ergebnisse. Aber das muß nicht immer so sein. In vielen Fällen könnte eine elektronische Speicherung der betreffenden Information genügen, die dann von Fall zu Fall abgerufen wird. Für die fernere Zukunft erscheint es zumindest denkbar, daß bestimmte Zeitungen nicht mehr gedruckt, sondern über Funk und Kabel direkt frei Büro oder noch später vielleicht auch frei Haus geliefert werden. Es könnte dann wohl sein, daß man die Wahl zwischen Ausdrucken oder elektronischer Speicherung auf Abruf haben wird, sofern man es nicht vorzieht, die betreffende Information als unspezifisch einfach »vorbeiraschen« zu lassen.

Der weltweite Ausbau des Bildungswesens und die allgemeine Hebung des Kulturniveaus besonders in den heute noch rückständigen Ländern werden ebenso wie die wachsenden Ansprüche hinsichtlich Arbeitersparnis, Hygiene und Wohlbefinden den Bedarf nicht nur an Druck- und Schreib-, sondern auch an Verpackungs- und Hygienepapieren ansteigen lassen. Zweckmäßig verpackte tischfertige Gerichte in Verbindung mit gebrauchstüchtigen Einwegpapiertassen und -tellern könnten die Hausfrau der Zukunft ohne Zweifel stark entlasten. Aus denselben Gründen wird man sicher auch Wegwerfmaterialien für den Hygienebereich (wie Krankenhauswäsche und Windeln) in zunehmenden Mengen verbrauchen. Daß aber deshalb unsere ganze Lebensführung in der Zukunft aufs »Wegwerfen« eingestellt sein wird, kann angesichts der komplizierten Rohstoffsituation wohl nur ein Ahnungsloser glauben. Wie dem auch sei, als Rohstoff für alle diese Produkte eignet sich Papier ganz ausgezeichnet, weil es nicht nur billig ist, sondern im Gegensatz zum Kunststoff nach Gebrauch leicht vernichtet oder nutzbringend wiederverwendet werden kann.

Papier wird gegenwärtig fast ausschließlich aus Holz hergestellt. Das zu streichholzschachtelgroßen Stücken zerhackte Material überführt man dabei entweder durch

einen chemischen Aufschluß oder durch mechanisches Zerreiben (Holzschliff) in einen Faserbrei. Dieser wird auf einem kontinuierlich arbeitenden Sieb zu einem vorerst noch feuchten Vlies geformt und anschließend auf Walzen und Zylindern gepreßt und getrocknet. Durch Zusatz von Leim, Füllstoffen und gegebenenfalls auch durch eine Oberflächenveredlung mit einer pigmentreichen Streichfarbe erhält man das Papier in den bekannten Variationen.

Die insgesamt etwa 600 verschiedenen Papier-, Karton- und Pappensorten – von denen in der DDR etwa 450 produziert werden – gehen derzeit in mindestens 30 000 Finalprodukte ein, die zu wesentlichen Teilen in der Elektrotechnik/Elektronik, in der Foto- und Bürotechnik, in der Bau- und Möbelindustrie und in der Verpackung verwendet werden. Allein für Zeitungen werden auf unserem Erdball jährlich etwa 30 Mill. t Holz verbraucht!

Die Weltzellstoffproduktion war Mitte der 70er Jahre etwa bei 100 Mill. t/Jahr angelangt, wobei die Sulfatzellstoffherzeugung im Verhältnis zum Sulfitzellstoff stärker zunahm. Dazu kamen noch 30 Mill. t Holzschliff. Die Zellstoffkapazität der DDR wird 1980 rund 620 000 t, diejenige an Papier und Karton insgesamt etwa 1500 kt erreichen. Der nach 1980 aus eigener Produktion noch ungedeckte Zellstoffbedarf wird trotzdem noch bei 150 000 t/Jahr liegen.

Eine Welt ohne Papier ist heute wohl kaum mehr vorstellbar, obwohl dies zugleich auch eine Welt ohne Papierkrieg wäre. Man wird aber zugeben müssen, daß Papierkrieg nicht der übelste aller Kriege ist und die Fortschritte der modernen Zivilisation überhaupt ohne Papier nicht möglich gewesen wären. Ein blatt- oder folienartiges Material, das die bisherigen Hauptfunktionen des Papiers, nämlich als Druck- und Schriftträger sowie als Verpackungsmittel zu dienen, auch in der Zukunft erfüllt, wird es deshalb immer geben. Es könnte aber sein, daß in 25 Jahren nicht mehr nur das bekannte Zellulosevlies gemeint ist, wenn man von Papier spricht. Seit einigen Jahren machen nämlich Kunststoffe auch auf diesem Gebiet immer mehr von sich reden. Beginnend mit zaghaften Ansätzen in den 40er Jahren sowie intensiveren Bemühungen insbesondere der Japaner seit etwa 1960, ist

heute ein Stand erreicht, der die Aussage gestattet, daß die Plastpapierproduktion bis zum Jahre 2000 zu einem zwar begrenzten, aber doch nicht mehr übersehbaren Faktor in der Papierwirtschaft heranwachsen kann. Zugleich muß jedoch festgestellt werden, daß ein echtes gesellschaftliches Bedürfnis nach einem Ersatz der Zellulosepapiere durch Kunststoffe bisher nicht besteht und allein schon aus rohstoffbedingten Gründen auch gar nicht realisiert werden könnte. Sinnvoll ist wohl nur, die eingesetzten Materialien gegenseitig zu ergänzen und (über Verbunde und Beschichtungen) auch zu vervollkommen.

Die für die Festigkeit im Zellulosevlies verantwortlichen Wasserstoffbrücken werden durch die Vermittlung von Wasser beim Trocknungsvorgang gebildet. Den Synthesefasern fehlen diese natürlichen Bindekräfte. Mit Hilfe geeigneter Klebstoffsysteme oder auch durch chemisches Pfropfen zur Verbesserung des hydrophilen Charakters lassen sich aber wichtige Papiereigenschaften (z. B. Festigkeit, Dimensionsstabilität, Elastizität usw.) wesentlich verbessern. In jüngerer Zeit gelang es, mikrofeinen Faserstoff auf Polyäthylbasis mit einem mittleren Faserdurchmesser von 1 µm herzustellen. Er kann allein oder in Mischung mit Zellstoff auf konventionellen Langsiebmaschinen zu technischen Papieren verarbeitet werden.

Für die Übernahme derselben Funktionen gedacht, aber ohne jede Faserstruktur, sind Folien aus Polystyrol, Polyäthyl, Polypropylen, Polyvinylchlorid, Polycarbonat und anderen Polymeren einschließlich verschiedener Mischpolymerisate. Namentlich die papierähnlichen Niederdruckpolyäthylfolien, deren Entwicklung erst vor etwa 15 Jahren begann, verbinden in glücklicher Weise die guten Eigenschaften der Polyolefine (sie sind dicht gegen Wasser und Gase, naßfest sowie schweißbar) mit denen des konventionellen Papiers (z. B. Steifigkeit, gute Falzbarkeit und Druckeigenschaften). Der durch die zunehmende Menge an fäulnisbeständigen Kunststoffen gegebenen Umweltgefährdung versucht man erfolgreich durch lichtempfindliche Zusätze zu begegnen. Das Material wird unter dem Einfluß von Licht und UV-Strahlen brüchig und zerfällt zu einem mikrobiologisch abbaubaren Pulver.

Kunststoffpapiere eignen sich sehr gut für bedruckte Qualitäten (Landkarten, Ausweise, Registrierstreifen für Meßgeräte, Lochkarten, Reproduktionen). Als Einwickel- und Verpackungsfolien, für Tüten, Beutel und Tragetaschen aller Art, zur Herstellung abwaschbarer Tapeten sowie als Ersatz für Seidenpapiere und Pergamente bieten sich noch viele Einsatzmöglichkeiten. Bei Massenpapieren ist jedoch auch auf längere Sicht nur mit einer sehr geringen Substitution zu rechnen. So wird in den westeuropäischen Industrieländern das Synthesepapier bis 1985 kaum mehr als 4%, im Weltmaßstab etwa 1 bis 1,5% des gesamten Schreibpapiermarktes übernehmen. Die BRD verbrauchte 1970 nur 0,04% des gesamten Papiers als Folien. 1980 sollen 1,1% erreicht werden. In Japan lagen die in der Mitte der 70er Jahre erreichten Produktionskapazitäten mindestens um ein Drittel niedriger als die prognostizierten Werte. Selbst in der Kunststoffhochburg USA betrug der Plastfolienanteil 1975 erst 4,9% des verwendeten Papiers. Übrigens wird seit 1973 auch in der DDR ein synthesesfaserhaltiges Papier (Hekosyn) hergestellt. Vorläufig und bis auf weiteres steht jedoch einer weltweit stärker Verbreitung der Polymerpapiere immer noch der hohe Preis im Wege.

Der Anteil von Papier und Pappe an den Verpackungswerkstoffen liegt in den Industrieländern etwa bei 50%. Kunststoffe sind wertmäßig bisher nur mit 10 bis 20% beteiligt, aber sie werden in Gestalt einfacher und mehrschichtiger Folien, geschäumter Behälter sowie plastbeschichteter Papiersäcke und Kartonagen sicherlich noch weiter vordringen. Dieser Trend wird gestützt durch die zunehmende Verbreitung hochwertiger Markenartikel, die aufwendige Verpackungen mit einer gewissen Werbefunktion erfordern. Dagegen ist nichts einzuwenden, solange der Aufwand in einem angemessenen Verhältnis zum Wert der Ware steht. Diese Relationen werden jedoch besonders in den kapitalistischen Ländern oft nicht gewahrt, zumal dem Verpackungswesen eine gewisse Tendenz zur Verschwendung sozusagen angeboren ist. Bei uns aber sollte darauf geachtet werden, daß diese Neigung stets auf ein vertretbares Maß beschränkt bleibt.

Abschließend sei erwähnt, daß für Spe-

zialpapiere zukünftig auch keramische Fasern sowie Metall- und Glasfasern stärker an Interesse gewinnen werden. Kombinationen aus Papierfasern, Kunststoff und Glasseidenfäden beispielsweise zeigten Festigkeiten, wie man sie bisher nur von metallischen Werkstoffen kannte. Einsatzgebiete für diese Materialien gibt es nicht nur im Verpackungswesen, auch billige und haltbare Papiermöbel sowie technische Produkte lassen sich daraus herstellen. Überhaupt wird die Chemie den anorganischen Werkstoffen in der Zukunft noch sehr stark voranhelfen. Deshalb werden alle Fachleute zustimmen, wenn wir sagen

Glas ist ein alter Werkstoff, aber er hat große Perspektiven

Seine Wurzeln reichen bis in das 5. Jahrtausend vor der Zeitenwende zurück. Damals wurden im alten Ägypten die ersten glasähnlichen Sinterprodukte erschmolzen, während Glasgefäße im engeren Sinne erst aus dem 15. Jahrhundert v.u.Z. bekannt geworden sind. Angesichts dieses achtbaren Geburtsdatums mag mancher vielleicht nur mit Mühe ein Schmunzeln unterdrücken, wenn ihm erklärt wird, daß ausgerechnet das alte zerbrechliche Mädchen Glas noch eine sehr große Zukunft vor sich haben soll.

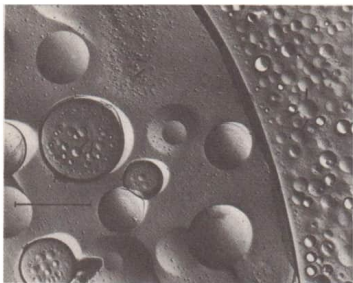
Bei genauer Betrachtung erweist es sich aber, daß der Werkstoff Glas die meiste Zeit seines langen Erdendaseins recht stiefmütterlich behandelt worden ist. Das begann schon bei den alten Ägyptern. Gläserne Luxusartikel, wie Vasen, Schalen und Schmuck, waren zwar allseits begehrt, aber die »Forschungs- und Entwicklungsabteilungen« der alten Pharaonen hatten anderes zu tun, als sich mit diesem läppischen Zeug herumzuschlagen. Gab es doch nicht die geringste Aussicht, jemals einen Harnisch, einen Streithelm oder gar eine handliche Keule aus dem zerbrechlichen Material anfertigen zu können.

Die Ergebnisse dieser langfristigen Forschungspolitik entsprachen durchaus den Erwartungen: Vor 3500 Jahren, als das Eisen noch fast unbekannt war, erhielt man schon ganz ansehnliche Glasgefäße im Handel. 1500 Jahre später gab es noch dieselben Gläser, aber in den ägyptischen Werkstätten

wurde jetzt ein Stahl erschmolzen, der kaum einem Hüttenwerk des 19. Jahrhunderts Schande gemacht hätte. Noch einmal 1950 Jahre später, also etwa zu Beginn unseres Jahrhunderts, hatte die organische Chemie bereits ihre ersten wissenschaftlichen Höhepunkte überschritten. Die Glas- und Silikatchemie jedoch war nach wie vor der alte Acker, von dem mit den bis dahin entwickelten Methoden der Strukturaufklärung nur eine recht mäßige Ernte eingebracht werden konnte. Die ersten lückenhaften Hypothesen zur Glasstruktur entstanden in den 20er und 30er Jahren unseres Jahrhunderts, aber auch sie ermöglichten dem Glasmacher zunächst nicht mehr als eine Fortsetzung der Handwerkelei auf höherer Ebene. Eine vollkommene Durchdringung des uralten Handwerks mit wissenschaftlichen Prinzipien steht daher als eine realisierbare Aufgabe im Grunde genommen erst seit wenigen Jahren und mehr noch vielleicht für die Zukunft auf der Tagesordnung. So gesehen ist die Silikatwissenschaft nicht älter als etwa die Kunststoffchemie.

Bei alledem waren die Glasmacher zwischen Euphrat und Rhein während der Zeit vom 5. Jahrtausend v.u.Z. und dem 2. Jahrtausend u.Z. alles andere als faul. Über 800 unterschiedliche Glaszusammensetzungen, aus denen rund 43 000 verschiedene Produkte hergestellt werden, sind das bisherige Fazit ihrer Bemühungen. Aber noch immer ist die Sprödigkeit ein schwerwiegendes Problem. Verhindert doch vornehmlich dieser bedauerliche »Geburtsfehler«, daß man beispielsweise keine Maschinen oder etwa Schienen aus Glas herstellen kann. Seine Beherrschung wird über die Zukunft des Glases mitentscheiden.

Das zum überwiegenden Teil aus einer silikatischen Grundmasse mit SiO_2 -Gehalten bis etwa 75% bestehende Glas ist eine unterkühlte Flüssigkeit – so lautet die mit Einschränkungen auch gegenwärtig noch vertretene Konzeption des Glaszustandes. Die inzwischen erzielten Fortschritte in der Theorie sind besonders dem Einsatz der Elektronenmikroskopie zu verdanken, die heute zu einer Hauptmethode der Glasstrukturforschung geworden ist. Entgegen früheren Vorstellungen zeigte sich, daß beim Abkühlen der Glas-



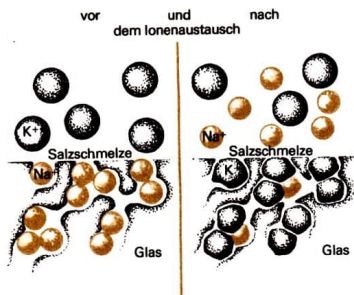
Neue Erkenntnisse in der Glasstrukturforschung: Bei Entmischungsprozessen im Borosilikatglas bilden sich Glasstrukturen mit 6 bis 8 Mikrophasen.

schmelze tropfenförmige Bereiche entstehen, die sich von dem umgebenden Glas durch eine andere chemische Zusammensetzung und durch eine unterschiedliche Resistenz gegen Chemikalien unterscheiden. Da diese Bereiche nur 2 bis 60 nm groß sind, kann man mit bloßem Auge keinerlei Trübung beobachten. Trotzdem basieren die erfolgreichen Neuentwicklungen der letzten 20 Jahre vorwiegend auf diesen Ergebnissen.

So sind durch die Variation von Größe, Anzahl und Zusammensetzung der »Tröpfchen« Gerätegläser mit einer sehr hohen chemischen Resistenz hervorgebracht worden. Die über eine Tröpfchenentmischung gesteuerte Kristallisation (Kristallgröße etwa $1\mu\text{m}$) führte zu mehr oder weniger »kristallinen« glaskeramischen Werkstoffen oder Vitrokramen, deren phänomenale Festigkeiten fast denen der Metalle gleichkommen. Die Wärmeausdehnung des je nach chemischer Zusammensetzung durchsichtigen oder auch porzellanartigen Materials läßt sich so stark variieren, daß eine Anpassung an fast alle Metalle erreichbar ist. Sie kann auf Werte herabgesetzt werden, die noch zehnmal niedriger sind als bei den in dieser Beziehung ohnehin extremen Quarzgläsern. Manche Glaskeramiken vertragen eine schlagartige Abkühlung um 1000°C , ohne zu zerspringen.

Anfang der 70er Jahre wurde in den USA eine neue Gattung der Vitrokerame entwickelt, die wie gewöhnliche Metalle mit Schnellarbeitsstählen auf Präzisionstoleranzen bearbeitet werden können. Sie lassen sich fräsen, drehen, sägen, bohren und sogar mit Gewinden versehen. Vitrokerame eignen sich für zahlreiche technische Anwendungen, bei denen es neben Korrosionsbeständigkeit auf höchste Temperaturwechselfestigkeit und maximale Formkonstanz ankommt. Sie haben sich als Material für Motorkolben, als Baustoff für elektrotechnische Artikel, für chemische Apparaturen und selbstverständlich auch im Haushalt bereits bewährt. Die wahren Grenzen ihres Anwendungsbereichs sind noch gar nicht abzusehen.

Aber auch die für viele Zwecke noch ungenügende Festigkeit des normalen Glases kann heute beträchtlich verbessert werden. Bei der traditionellen thermischen Härtung wird das Glas zunächst erhitzt und dann rasch abgekühlt. Dadurch ziehen sich die äußeren Glasschichten stärker zusammen als die inneren, und das Glas wird zwischen zwei Kompressionsschichten eingeschlossen. Die so erzeugte Spannung muß überwunden werden, bevor es zum Bruch kommt. Normal abgekühltes Glas hat eine Biegefestigkeit von etwa 50N/mm^2 , thermisch gehärtetes von ungefähr 140N/mm^2 . Die chemische Verstärkung jedoch ermöglicht die Herstellung von ultrahochfesten Gläsern mit Biegefestigkeiten bis zu 700N/mm^2 , und noch dreifach höhere Werte werden für möglich gehalten! Der Prozeß beruht auf einem Ersatz kleiner Natriumionen in der Glasoberfläche durch größere Kaliumionen. Chemisch verfestigtes Glas zerspringt bei einer Schlagbeanspruchung nicht. Deshalb kann man es im Gegensatz zum thermisch behandelten Material auch mechanisch bearbeiten. Die ersten Anwendungsgebiete waren starkes Tafelgeschirr, Kraftfahrzeugheckscheiben und Laborpipetten. Inzwischen haben sich chemisch verfestigte Gläser bei stark beanspruchten Ganzglastüren, Glastiefseekugeln und als Außenbeschichtungen für die Schutzscheiben von Düsenverkehrsmaschinen und Raumschiffen bewährt. In der Zukunft wird man vielleicht sogar metallische Werkstoffe damit ersetzen können.



Die chemische Glasverstärkung beruht auf dem Ersatz kleiner durch große Ionen in der Glasoberfläche. Durch diese »Bepackung« entsteht eine sehr stabile Druckschicht und damit ein hochfestes Leichtglas.

Sehr hohe Festigkeiten resultieren auch aus der Verbindung normaler oder nachbehandelter Gläser mit Plastzwischen-schichten. Bei nur 4 mm dicken Fensterscheiben konnten auf diese Weise Festigkeiten von über 10 N/mm^2 erreicht werden. Dickere Schichten dieses Verbundwerkstoffs können Holz und Metall z. B. im Leichtbau substituieren. Mit einem Steinwurf kann man solchen Scheiben gar nichts anhaben. Mehr noch, in den Laboratorien wurden bereits Glaswerkstoffe entwickelt, auf die man aus 4 m Höhe eine 2 kg schwere Kugel herabfallen lassen kann, ohne daß ein Bruch eintritt. 20 bis 40 mm starkes Panzerglas, das aus mehreren mit Kunstharz verklebten Glasschichten zusammengesetzt ist, widersteht selbst einem Pistolenschuß.

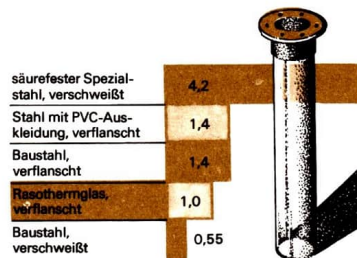
Nach alledem ist es kein Wunder, daß dem Glas im vergangenen Jahrzehnt auch im chemischen Apparatebau ein Durchbruch gelungen ist. Noch vor 20 Jahren wurde es auf diesem Gebiet nur als Ersatzmaterial betrachtet. Heute gibt es umfangreiche Sortimente an Bauteilen aus festen, dickwandigen, hochkieselsäurehaltigen, bis 250°C temperaturwechselbeständigen Borosilikatgläsern (dazu gehört auch das bekannte Rasothermglas aus Jena), mit denen baukastenartig sämtliche Anlagen zur Reaktion, Destillation, Extraktion

usw. einschließlich der dazu benötigten Rohrleitungen vom Technikumsmaßstab bis zum großtechnischen Format errichtet werden können. Glasbauteile sind in bezug auf Korrosion, Temperaturbeständigkeit und Festigkeit von einer so guten Qualität, daß ihr Einsatz immer breiter wird. Außerdem kann man sehen, was in den Behältern passiert. Das ist ein großer Vorteil, denn ohne Glas wäre die Chemie geradezu blind!

Beim Bau von Kühl- und Warenhäusern sowie repräsentativen Hotels werden immer mehr Schaumglaselemente zur Dachisolation und Außenwandverkleidung eingesetzt. Dieser Werkstoff wird mittels einer thermochemischen Reaktion aus feingemahlenem Glas und einem gasentwickelnden Treibmittel hergestellt. Er hat bei minimaler Dichte ($0,14 \text{ g/cm}^3$) eine hervorragende Wärme- und Schalldämmung. Eine 6 cm dicke Schicht ist in dieser Hinsicht mit einer 40 cm starken Backsteinmauer vergleichbar. Die thermische Beständigkeit reicht bis etwa 400°C . Das Material läßt sich sägen, hobeln und nageln.

Die Bereitstellung von Spezialgläsern mit infrarotabsorbierenden Metalloxidfärbungen sowie von wärmestrahlenreflektierenden Gläsern mit aufgedampften hauchdünnen Metallschichten fördert die Anwendung großflächiger, blendungsfreier Verglasungen im

Relative Material- und Montagekosten von Rohrleitungen der Nennweite 150 mm aus verschiedenen Materialien, bezogen auf Rasothermglas. Die Substitution hochlegierter Edelstahlrohre für aggressive Medien wird sich in wachsendem Maße zu einer Domäne für Glasrohre entwickeln.



Bauwesen. Mit diesen Werkstoffen gelingt es, den umbauten Raum von der eingestrahlten Sonnenenergie weitgehend abzuschirmen. Dadurch vermeidet man den im Sommer höchst unerwünschten Treibhauseffekt, während in der kalten Jahreszeit die Wärme im Gebäude gehalten wird.

Alle diese Entwicklungen verdienen unseren Respekt, aber eine hauchzarte, elastische Faser aus Glas wird manchem als eine noch verblüffendere Leistung erscheinen. Das erste brauchbare Verfahren zur industriellen Produktion derartiger Glasfäden wurde 1908 entwickelt. Anfänglich ging es vor allem um die Erzeugung kurzer Stapelfasern (bis etwa 10 cm Länge), die man überwiegend zu Isoliermaterial verarbeitete. Endlosfäden wurden nur in geringem Umfang für elektrotechnische Zwecke produziert. Während des zweiten Weltkriegs kam es zur Entwicklung der glasfaserverstärkten Kunststoffe. Diese nehmen heute in den USA 65% und in Westeuropa sogar etwa 83% der gesamten Glasfaserproduktion besonders in Form der vielseitig einsetzbaren Glasfaservliese auf.

Die Glasseidenerzeugung der Welt betrug 1975 etwa 600 000 t. Sie wird bis 1980 auf über 1 Mill. t/Jahr ansteigen. In den auf diesem Gebiet führenden USA wurden 1975 rund 1,5 kg Glasfaserprodukte je Kopf der Bevölkerung hergestellt. Die UdSSR begann erst nach dem zweiten Weltkrieg mit der Glasfadenerzeugung, aber der durchschnittliche jährliche Zuwachs in den letzten zehn Jahren betrug nicht weniger als 25%! Seit 1960 nimmt die Sowjetunion den zweiten Platz in der Welt ein. Zur schnellen Weiterentwicklung dieses Gebiets arbeiten die sozialistischen Länder, insbesondere die UdSSR und DDR, eng zusammen.

Mit Glasfaservliesen kann man armen, veredeln, kaschieren, dekorieren, filtrieren, isolieren, abdichten. Dafür eingesetzte Glasfasern mit 0,01 mm Durchmesser erreichen eine Festigkeit von 1000 N/mm². Sie sind witterungsbeständig, unverrottbar, säurefest und isolieren gegen Schall, Wärme und Elektrizität. Beispielsweise wurde die Erdölleitung »Freundschaft« mit Glasfasermatten isoliert. Der Einsatz von Glasfaservliesen als Träger bituminöser Substanzen (fäulnis- und chemikalienfeste Dachbeläge) ist zwischen 1956

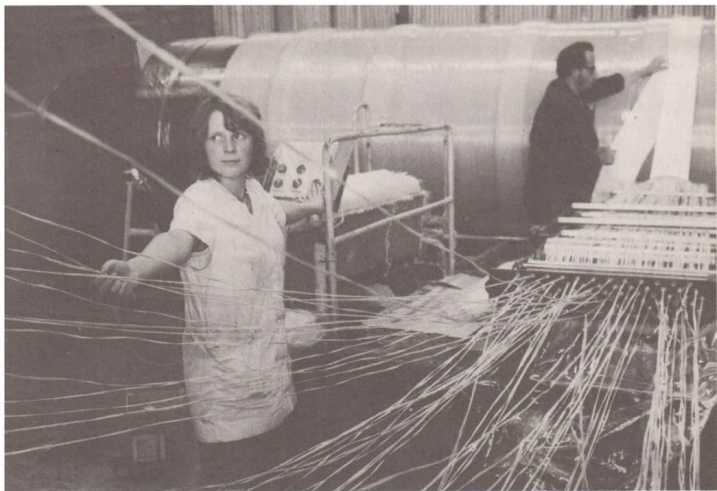
und 1973 in der DDR auf nicht weniger als das 20fache erhöht worden.

In verschiedenen Ländern, so auch bei uns, werden seit einigen Jahren extrem dünne Glasfasern mit einem Durchmesser von 0,005 bis 0,0005 mm hergestellt. Aus derartigem Material gewonnene kurzfasrige Glaswatte dient für Isolierzwecke im Schiffs- und Waggonbau sowie im Metalleichtbau (Beispiel: Kuppel des Berliner Fernsehturms) und als Gehörschutz.

Neuerdings wurden in England alkali-beständige und damit zementverträgliche Glasfasern entwickelt, die zur Herstellung von leichtem biegefestem Glasfaserbeton eingesetzt werden. Die Schlagzähigkeit dieses Baustoffs ist 20mal höher als die von Normalbeton. Das Material dient vorerst nur für nichttragende Konstruktionen.

Aus Glasfaserendlosgarnen sowie -zwirnen und -seiden können feine Siebe aller Art, Reifenverstärkungen, Transportbänder, Papiere (z. B. abwaschbare Tapeten) und – sozusagen als Krönung des Ganzen – textile Gewebe hergestellt werden, denen weder Säuren noch Feuer, geschweige denn Sonne, Wasser oder Luft etwas anhaben können.

Glasseiden für Autoreifen und auch für textile Anwendungen erfordern eine puffernde Umhüllung jedes Fadens mit organischen Substanzen, sonst würde ständig Glas gegen Glas reiben und einen hohen Verschleiß bewirken. Die textil genutzten Glasfäden haben einen Durchmesser um etwa 7 µm. Aus 10 g Glas kann ein Faden von 160 km Länge gezogen werden. Er hat eine Zugfestigkeit bis zu 40 N/mm² und liegt damit noch besser als Federstahl! Glasseiden und Glasgarne kann man wie normale Textilfäden verzwirnen, effektiv verweben und zu Maschinenwaren verarbeiten. Die entstehenden Gewebe sind knitterfrei, dimensionsstabil, pflegegünstig, und sie lassen sich ein- oder mehrfarbig bedrucken. Neben technischen Textilien ist die Produktion von Glasfaserdekorationsstoffen angelaufen. Schon in den nächsten Jahren werden sie als Massenartikel (z. B. für Wandbehänge, Vorhänge usw.) zur Verfügung stehen. Für die organischen Faserstoffe aber wird Glas bis zum Jahre 2000 noch kein ernsthafter Konkurrent werden können.



Im Kunststoffverarbeitungswerk Staaken werden 60-fädige Glasseidenstränge zum Wickeln von glasfaserverstärkten Behältern aus Polyesterharz verwendet.

Ein zukunftssträchtiges Arbeitsgebiet mit weitreichenden Anwendungsmöglichkeiten ist die Glasfaseroptik. Der alte Wunschtraum der Lichtphysiker, einmal die optische Achse verbiegen zu können, ist mit ihrer Hilfe bereits realisiert worden. Die etwa seit Anfang der 50er Jahre intensiver bearbeitete Faseroptik bedient sich ummantelter Glasfasern von einigen $10\mu\text{m}$ Stärke. Kern und Mantel bestehen zwar beide aus Glas, aber sie haben einen unterschiedlichen Brechungsindex. Das an dem einen Ende der Faser eintretende Licht wird durch Totalreflexion an der Kern-Mantel-Grenze auf einem Zick-Zack-Kurs bis zum Ende der Faser durchgeleitet. Deshalb vermag es auch sämtlichen Biegungen dieses Lichtleitkanals zu folgen. Die bei der großen Zahl von Reflexionen (einige tausend pro Meter) auftretenden Verluste begrenzen jedoch die Reichweite der Energieübertragung. Um diese

Schwierigkeiten zu beheben, sind Fasern hergestellt worden, deren Brechungsindex von der Mitte zum Rand hin kontinuierlich abnimmt.

Lichtleitkabel bestehen aus Faserverbänden. Sie wurden Mitte der 60er Jahre serienmäßig bis zu 10 mm Durchmesser in Maximalmängen bis 2 m geliefert. Ursprünglich schien es, als ob die Reichweite bestenfalls 50 m betragen könnte, aber die heutigen plastummantelten Lichtleitkabel mit superreinen Glasfasern erlauben eine Weiterführung des Lichtes schon über Entfernungen von einigen Kilometern. Sie lassen sich ohne weiteres auf Trommeln aufspulen, und man kann sie in Geräten wie elektrische Drähte verlegen. Für zahlreiche Apparate, in denen früher Spiegel, Prismen oder auch Linsen die Lichtstrahlen um- und ablenkten, wird man deshalb künftig flexible Kabel aus Glas verwenden. Auch die Ausleuchtung schwer zugänglicher Bereiche in der Technik (z. B. in Tanks, Reaktoren, Maschinen) oder in der Medizin (z. B. in Körperhöhlen) ist mit Glasfasersträngen möglich. Für manche Anwen-

dungsbereiche gilt dabei als großer Vorteil, daß aus dem Faserkabel nur kaltes Licht austritt, so daß eine thermische Belastung des betreffenden Objektes vermieden wird. Auch für die Nachrichtenübertragung eröffnen die Glasfasern neue Horizonte. Mit einem nur 7 mm dicken Kabel aus 300 Einzelfasern könnten 2 Millionen Gespräche gleichzeitig weitergeleitet werden! Die Grenze der Übertragungskapazität wird mit etwa 10000 Telefontkanälen pro Faser angegeben.

Glasfaserverbände lassen sich ferner zur Übertragung von Bildinformationen (z. B. aus dem Mageninneren) nutzen, wobei ein um das eigentliche Bildkabel gelegter Glasfaserring gleichzeitig zum Beleuchten dient. Um die Qualität des Fernsehbilds zu erreichen, wären Kabel mit etwa 200000 Fasern von 10 bis 30 μm Dicke erforderlich. Dem umfassenden Einsatz steht vorerst die noch nicht befriedigende Qualität der Fasern entgegen. Die Glasfaseroptik – und vielleicht auch einmal die Kunstoffaseroptik – wird aber durch technische Verfeinerungen und eine Optimierung der Materialqualitäten in der Zukunft noch wesentlich verbessert werden können.

Zu den Neuentwicklungen seit 1965 gehören die fotochromen Borosilikatgläser. Sie enthalten etwa $4 \cdot 10^{15}$ Silberhalogenidkristalle je Kubikzentimeter. Die farblosen Silberionen werden mittels UV-Licht in den elementaren Zustand überführt, wodurch eine reversible Schwärzung auftritt. Es handelt sich also um denselben Vorgang, der in fotografischen Schichten irreversibel abläuft. Durch Wärmezufuhr oder Bestrahlen mit rotem Licht läßt sich das Material wieder »bleichen«. Beispielsweise erreicht das bei normaler Ausleuchtung farblose Glas einer in der DDR hergestellten Brille unter der Einwirkung von Sonnenlicht in etwa vier Minuten den Abdunkelungswert einer mittleren Sonnenbrille. Bei verringerter Lichteinstrahlung kehrt sich der Vorgang um. Im Bauwesen und im Fahrzeugbau haben derartige Gläser eine große Zukunft. Wenn die Geschwindigkeit der Helligkeits-Effekte erhöht werden könnte, wäre auch eine Anwendung in der Kopier- und Dokumentationstechnik sowie bei der Belichtungsregelung im fotografischen Prozeß möglich.

Noch mehr Interesse beanspruchen fo-

tochrome Gläser als Computerspeicher für Binärsymbole und zur holographischen Aufzeichnung¹. Immerhin liegen ihre theoretischen Maximalspeicherdichten bei über 10^{15} bit/cm^3 , wovon bisher knapp 10^{13} bit/cm^3 realisiert worden sind. Es stehen Gläser zur Verfügung, in die man optische Informationen mit Licht von 310 bis 400 nm »hineinschreiben« kann. Durch Wellenlängen von 530 bis 630 nm lassen sie sich wieder löschen, während sich zum »Auslesen« der gespeicherten Information Licht von 430 bis 540 nm eignet. Das Material übersteht nicht weniger als $3 \cdot 10^5$ Aufzeichnungszyklen ohne nennenswerte Veränderungen!

Die im normalen Glas enthaltenen Ionen sind bei Zimmertemperatur so wenig beweglich, daß eine meßbare elektrische Leitfähigkeit nicht auftritt. Deshalb wird das Glas in jedem Lehrbuch als Isolator eingruppiert. Um so mehr muß man sich wundern, wenn in den letzten Jahren immer wieder von sogenannten halbleitenden Gläsern zu hören war. Im Glas läßt sich nämlich eine zusätzliche Elektronenleitung herbeiführen. Man erreicht das durch Zugabe von Metalloxiden, deren Kationen in verschiedenen Wertigkeitsstufen auftreten. Diese sogenannten Chalkogenidgläser besitzen eine derartige Elektronenleitung. Sie enthalten Sulfide, Selenide und Telluride der Elemente Arsen, Antimon, Silizium und Germanium. Die Verwendung von Chalkogenidgläsern in Fernsehkameras ermöglichte es, deren Empfindlichkeit um eine Größenordnung zu steigern. Solche Kameras wurden z. B. bei den Fernsehübertragungen aus dem Mondfahrzeug Lunochod 1 eingesetzt. Mit steigender Feldstärke oder Temperatur ändert sich der elektrische Widerstand dieser Gläser sprunghaft, und man könnte sie deshalb auch als Schalt- und Speicherelemente im Computerbau einsetzen. Außerdem ergeben sich Anwendungsmöglichkeiten für die Verstärkertechnik und Elektrofotografie².

Im Dünnschichtverfahren erzeugte Glas-

1 Holographische Aufzeichnung: Verfahren zur linsenlosen Fotografie, bei dem auf einer Fotoplatte optische Informationen in Form von Interferenzmustern (Hologrammen) aufgenommen werden.

2 Elektrofotografie: Reproduktionsverfahren, das auf fotoelektrischen und elektrostatischen Effekten beruht.

Halbleiter sind so klein, daß auf einem einzigen Quadratzentimeter einige 100 von ihnen Platz finden. Sie ermöglichen also eine sehr kompakte Bauweise. Es wäre aber wohl falsch, wenn man annehmen wollte, sie könnten den Untergang der konventionellen Kristallhalbleiter heraufbeschwören. Für die überschaubare Zukunft sind sie mehr eine Ergänzung als eine ernsthaft Bedrohung der herkömmlichen Halbleiter.

Ins Licht der Öffentlichkeit traten die Glas-Halbleiter zum ersten Mal mit den Arbeiten des Amerikaners Ovshinsky, der 1968 seine Produkte unter dem Namen Ovonics publik zu machen versuchte. Aber die noch nicht völlig ausgereifte Erfindung bestand die Feuertaufe in der Praxis nicht, so daß der Glashalbleiter vorübergehend in Verruf geriet. Heute befinden sich die Ovonics überall in einer intensiven Entwicklung.

Die Durchlässigkeit spezieller Gläser kann durch ein elektrisches Feld gesteuert werden. Mit diesem Prinzip ließe sich möglicherweise der extrem flache Fernsehschirm realisieren, der wie ein Bild an die Wand gehängt werden kann. Darüber hinaus wären lichtempfindliche Gläser, die sich wie fotografisches Papier verhalten, Gläser mit Gedächtniseffekten, strahlenabsorbierende Gläser für die Kerntechnik und andere interessante Produkte denkbar. Und nach wie vor bleibt das Glas trotz wachsender Kunststoffkonkurrenz auch Spitzenreiter in der optischen Industrie. Mit den neu entwickelten Hochleistungsoptiken ist es möglich, selbst aus 30 bis 40 km Höhe noch einen Stein von 5 cm Durchmesser zu erkennen!

Aus Glas gewann man eines fernen Tags, der nun schon 3000 Jahre zurückliegt, auch die Emaille. Ihre jüngsten Sprößlinge bieten heute die Möglichkeit, den in der chemischen Industrie dominierenden, teuren Chrom-Nickel-Stahl an vielen Stellen durch emaillierten »Normalstahl« zu ersetzen, wobei die Apparatkosten auf die Hälfte sinken. In Thale wurde in den letzten Jahren eine universell einsetzbare Chemieapparateemaille herausgebracht, die in bezug auf Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit international zu den besten Produkten ihrer Art gehört. Auch an der Entwicklung von Glasemailen mit submikroskopischem Kristallgefüge wird gearbeitet. So

ist es in der UdSSR vor kurzem gelungen, Emaille mit einer mikrokristallinen, vitrokeramähnlichen Struktur herzustellen. Derartige Produkte halten selbst unter aggressiven Bedingungen in chemischen Reaktoren mindestens doppelt so lange wie herkömmliche Glasuren.

Diese und andere Entwicklungen werden dazu beitragen, die noch vorhandenen Nachteile der Stahlemaille weiter abzubauen. Es ist anzunehmen, daß die Schlagfestigkeit etwa auf das Dreifache, die Temperaturwechselbeständigkeit auf über 200°C und die Einsatztemperatur von bisher maximal 300°C auf etwa 500°C gesteigert werden kann.

Aber auch der alte Wunschtraum zahlreicher Werkstofftechniker, das vielseitig anwendbare Aluminium mit einer Emailleschicht überziehen zu können, ist mit der Entwicklung einer niedrigschmelzenden Emaille (570°C) inzwischen realisiert worden. Das emaillierte Aluminium dringt schnell in weite Bereiche der Bautechnik ein, ist es doch ein absolut korrosions- und witterungsbeständiges, ausreichend elastisches und dabei äußerst dekoratives, weitgehend stoßfestes und in vielen Farben herstellbares Material. Fassadenverkleidungen und vorgefertigte Bauelemente aus emailliertem Aluminium überdauern selbst in aggressiver Industrieluft und bleiben strahlend und sauber.

Die Vielfalt der aufgezeigten Entwicklungswege läßt für das Glas noch große Perspektiven erwarten. Dabei wurde noch gar nicht berücksichtigt, daß auch die klassischen Sortimente — wie Fensterglas, Profilglas, Drahtglas sowie Haushalts- und Wirtschaftsglas, unter dem das schöne Bleikristallglas nach wie vor der qualitative Spitzenreiter ist — überall in ständig wachsenden Mengen benötigt werden. So wird z. B. der Bedarf an Bau- und Behälterglas bis zum Jahr 1980 in der DDR auf das Zwei- bis Dreifache des Standes von 1972 ansteigen. Zwar kann das Glashaus wohl kaum das Wohngebäude der Zukunft sein, aber die Bedeutung des Glases als vielseitig einsetzbares Konstruktionsmaterial wird trotzdem stark anwachsen. Aus diesem Grund wird das Bauwesen wie schon heute, so auch in dem vor uns liegenden Vierteljahrhundert der Hauptabnehmer des Glases bleiben.

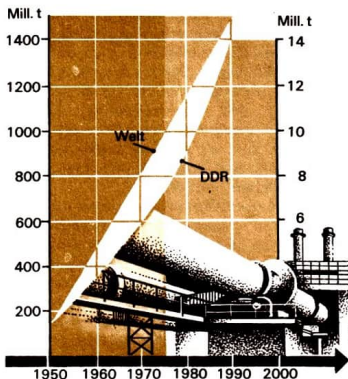
Glas ist demnach ein ausgesprochener Zukunftswerkstoff. Es zeichnet sich durch eine geringe Zahl von Verarbeitungsstufen aus, und der spezifische Energieverbrauch bei seiner Herstellung ist im Vergleich zu den Metallen bis zu 80 % geringer. Außerdem sind in vielen Ländern große Rohstoffreserven vorhanden. Das gilt besonders auch für die DDR. Deshalb haben sich unsere Wirtschaftspolitiker in kluger Voraussicht entschlossen, den Anteil des Glases an den Hauptwerkstoffen zwischen 1970 und 1990 von 4,8 % auf über 10 % zu erhöhen. Zur qualitätsgerechten Lösung dieser Aufgabe muß die Forschung und Entwicklung große Anstrengungen unternehmen, um einerseits die Anwendungsgebiete der konventionellen Produkte zu erweitern, andererseits aber die potentiellen Silikateigenschaften auch systematisch für die Erzeugung neuer Produkte auszunutzen. In der Grundlagenforschung versucht man, die Baufehler der Glasoberflächen zu beseitigen und definierte Spannungszustände einzuführen, um so den theoretischen Glasfestigkeiten näherzukommen.

Wahrscheinlich wurde von der Glasforschung in den letzten 30 Jahren mehr erreicht als in der gesamten vieltausendjährigen Geschichte vorher. Aber alles, was wir über das Glas und seine Verwendung heute wissen, wird wenig sein im Vergleich zu dem, was in der Zukunft zu erwarten ist. Glas wird zu einem Universalwerkstoff werden. Das gilt auch für

Andere Silikatwerkstoffe und ihre Verwandten

In den 20 Jahren von 1956 bis 1975 wurden in der DDR etwa 1,6 Mill. Wohnungen neu- oder ausgebaut. Aber in den 15 Jahren, die bis 1990 noch vor uns liegen, stehen 2,8 bis 3 Mill. auf unserem Programm. Dazu braucht man ungeheure Mengen an Baustoffen. Über 90 % davon werden silikatische Materialien sein.

An der Spitze der Silikate, wie überhaupt aller chemisch hergestellten Massengüter, steht der Beton mit einer Weltjahresproduktion von über 3 Mrd. t. Auf den Beton entfallen 70 % der Gesamtmasse der zur Zeit insgesamt verarbeiteten Baumaterialien. Die DDR ver-



Zementproduktion (Welt und DDR) seit 1950 mit Prognoseversuch bis 1990.

brauchte 1975 etwa 26 Mill. m³, für das Jahr 1980 stehen zirka 35 Mill. m³ in unseren Plänen, und die Produktionsziffern werden auch danach noch ständig weiterwachsen.

Wichtigster und zugleich auch teuerster Betonbestandteil ist der Zement. Die Weltproduktion wird sich von 1950 bis 1980 voraussichtlich um das Siebenfache auf insgesamt etwa 930 Mill. t erhöhen, nachdem 1970 erst 570 Mill. t erreicht waren. Die RGW-Länder steigern im 70er Jahrzehnt ihre Zementproduktion fast um 100 % auf etwa 250 Mill. t. Dabei wird dem gemeinsamen Aufbau von Werken zur Herstellung von Zement im Trockenverfahren mit Tagesleistungen bis zu 3000 t eine wichtige Rolle beigemessen. Allein in der DDR wurden 1975 etwa 11 Mill. t Zement produziert. Über 40 % davon kamen aus dem erst 1973 übergebenen Zementwerk Karsdorf. Aber schon in den Jahren ab 1977 wird unsere Kapazität durch die Inbetriebnahme eines weiteren Zementriesen im Eichsfeld (Deuna) einen erneuten Zuwachs von 2,5 Mill. t erhalten.

Die Druckfestigkeiten üblicher Betonmischungen liegen heute etwa zwischen 5 und 60 N/mm². Obwohl dies für die meisten An-

wendungsfälle ausreicht, ist zu erwarten, daß man die Festigkeiten in der Zukunft noch weiter steigern wird. 100 N/mm^2 liegen durchaus im Bereich des Möglichen und sind unter Laborbedingungen schon übertroffen worden. Zur Gewinnung von hochfestem Beton kommt man gegenwärtig mit einer thermischen Aktivierung der Zementrohstoffe bei 150°C am besten zum Ziel. Es wäre aber denkbar, daß eines Tages mit einer tribochemischen Behandlung bei Normaltemperatur noch bessere Ergebnisse erreicht werden können. Auch Polymerbeton (vgl. S. 95) ist ein – wenngleich sehr teuer – Werkstoff für hohe Beanspruchungen. Mit Spezialzement angesetzter Feuerbeton kann bis zu Temperaturen um 1800°C belastet werden.

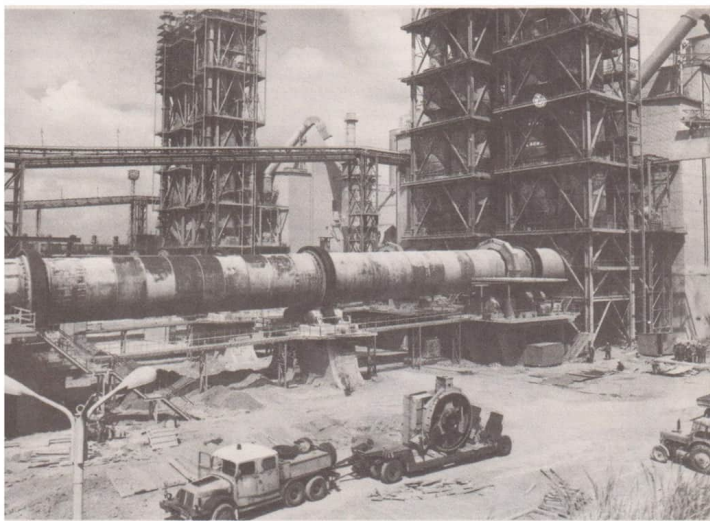
Viele Bemühungen gehen dahin, den Beton steuerbar und schneller auszuhärten, denn auf

diesen Vorgang entfallen nicht weniger als 60 bis 70 % der gesamten Produktionszeit. Leider fördert der wirksame, leicht zugängliche Härtingsbeschleuniger Kalziumchlorid das Rosten des Eisens im Stahlbeton, und er setzt auch die Endfestigkeiten herab. Deshalb besteht nach wie vor großes Interesse an neuartigen, billigen Erstarrungsbeschleunigern und für bestimmte Aufgaben auch an geeigneten verzögerern.

Durch den Einsatz chemischer Plastifikatoren wird der Wasserbedarf herabgesetzt und der Beton damit fester. Bei gleichbleibender Festigkeit kann man den Zementanteil um 10 % verringern. Außerdem bleibt der Frischbeton geschmeidig, so daß Verstopfungen in den Betonpumpen vermieden werden.

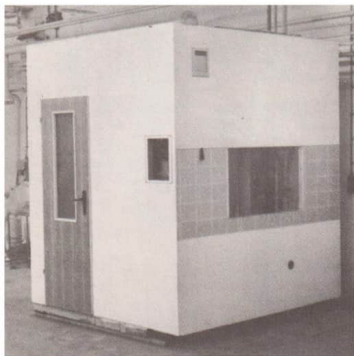
Ohne Zement kein Beton, das scheint eine Binsenwahrheit zu sein, und doch hat sie ihre Gültigkeit verloren! Der neuerdings immer stärker aufkommende Silikatbeton besteht nämlich im wesentlichen nur aus einer Mischung von Kalk und quarzhaltigem Sand

Drehrohren für die Zementherstellung in Karsdorf, der größten Zementfabrik unserer Republik.



(oder auch Kohlenfilterasche), die nach einem besonderen Verfahren unter Zusatz von Wasser bei 180° bis 200°C und 10 bis 12 bar gehärtet wird. Dabei entsteht wie beim Zementbeton ein steinhartes Gemisch von Kalziumsilikathydraten mit Druckfestigkeiten um 15 N/mm². Durch eine intensive mechanische Aktivierung des Sandanteils und andere Maßnahmen können auch dichte Silikatbetonsorten mit Festigkeiten um 50 N/mm² industriell gefertigt werden. Sie sind zur Herstellung großformatiger und selbsttragender Bauelemente geeignet. Im Labormaßstab wurden sogar schon Festigkeitswerte um 350 N/mm² erreicht! Perspektivisch interessanter sind aber leichte, nagelfähige Betontypen mit Porenstruktur, die gewöhnlich unter Verwendung von Aluminumpulver als Treibmittel hergestellt werden. Derartiger Gassilikatbeton hat – wie übrigens auch Holzbeton – eine sehr hohe Wärmedämmung und eignet sich deshalb besonders für eingeschossige Gebäude, für den Stahlleichtbau und vor allem zum Aus- und Umbau von Wohnungen.

Gipsbaustoffe werden durch neue Rezepturen, verbesserte Herstellungsverfahren und materialgerechtere Konstruktionen eine zunehmende Anwendung finden. Im Bild eine neuentwickelte Sanitärzelle aus Gipsfeinkornbeton, deren Zellenkörper in einem Zug aus einem fließfähigen Brei gegossen werden kann.



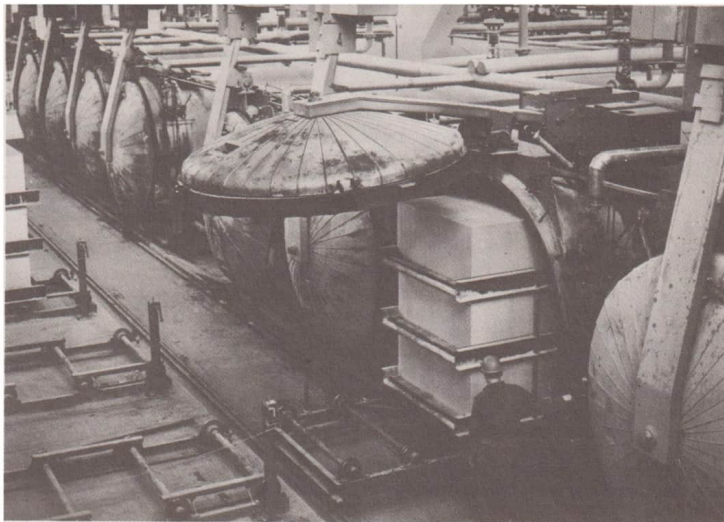
Obwohl die ersten Gasbetonsteine schon 1929 in Schweden hergestellt wurden, steht die Breitenentwicklung dieses Werkstoffs noch bevor. Die RGW-Staaten produzierten 1974 10,3 Mill.m³, wobei die Sowjetunion führend ist. Das erste DDR-Werk wurde 1964 in Parchim eingeweiht.

Auch Leichtbetonarten aus Zement und Kunststoff mit niedrigem Gewicht (z.B. Schaumpolystyrolkörnern), ausreichender Festigkeit, guter Wärmedämmung, geringer Feuchtigkeitsaufnahme und variabler Verarbeitbarkeit werden ständig weiterentwickelt. Sie dringen (wie auch der in anderem Zusammenhang erwähnte Glasfaserbeton) immer mehr in spezielle Anwendungsbereiche vor. Eine beginnende Ablösung des klassischen Betonbaus als Tragekonstruktion durch leichtere Bauweisen erwarten die Fachleute jedoch erst nach 1990.

Wenn die Zementgrundmasse mit Asbestfasern verstärkt wird, dann erhält man die bekannten witterungsbeständigen Asbestbetonbaustoffe. Mit einem Herstellungs- und Montageaufwand von nur 10,— Mark pro Quadratmeter Dachfläche nehmen Welltafeln den ersten Platz unter allen vergleichbaren Materialien ein. Dasselbe gilt für Fassadenverkleidungen mit farbigen Platten, die etwa fünfmal billiger als Aluminium und bis zu zehnmal billiger als Edelstahlverkleidungen sind. Ebene Platten bewähren sich auch als Deckschichten für leichte Wandelemente mit einem Stützkern aus Polyurethanhartschaum.

Die UdSSR nimmt mit einer Prokopfproduktion von 40,5kg Asbestbeton (1970) und den höchsten Zuwachsraten die führende Position im Weltmaßstab ein, während die DDR mit 20,7 kg pro Kopf auf dem vierten Rang lag. Analysen im RGW-Maßstab ergaben, daß die expansive Produktionsentwicklung anhalten wird. Die weiteren Bemühungen gelten besonders den großformatigen Platten und der Oberflächenveredlung. Mit der gemeinsamen Errichtung des neuen Asbestaufbereitungskombinats Kijembai im Südrural durch die sozialistischen Länder werden sich die Potenzen dieses Industriezweigs stark erhöhen.

Auch die keramischen Materialien gehören zu den Oldtimern unter den Werkstoffen. Aber



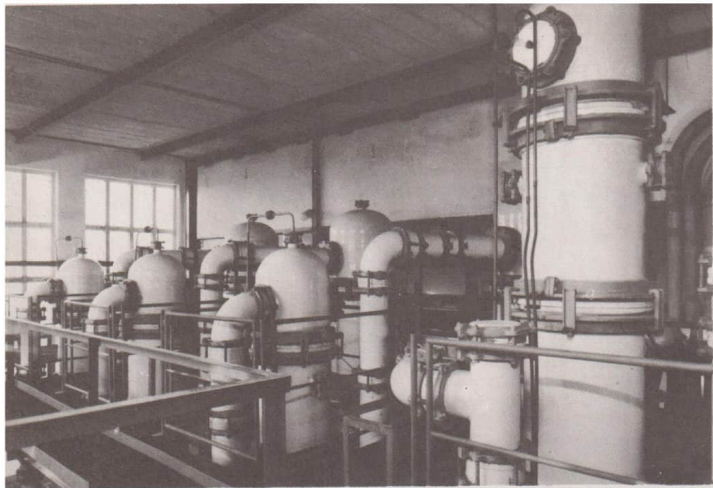
In diesen Autoklaven entsteht bei 12 bar und 200°C der moderne Werkstoff Gasbeton. Er eignet sich besonders gut für den Bau von Eigenheimen und Garagen sowie für den Aus- und Umbau von Wohnungen.

man spricht ihnen trotzdem eine große Zukunft zu, weil ihre wesentlichen Eigenschaften wie Härte, chemische Widerstandsfähigkeit, Abriebfestigkeit und hohe Temperaturbeständigkeit in den nächsten Jahrzehnten noch vielen Ansprüchen genügen werden. Außerdem sind sie billig. Etwa 60 000 verschiedene Artikel – vom stecknadelkopfgroßen Ferritkern bis zu haushohen Isolierteilen für Hochspannungsanlagen – produziert man heute aus keramischen Massen.

Die üblichen Keramikwerkstoffe sind in Form von Porzellan, Steingut und Steinzeug jedermann bekannt. Sie werden durch einen Hochtemperaturesinterprozeß aus einem Gemisch von Kaolin (oder Ton), Quarz und Feldspat erzeugt. Ihre Anwendung in der Industrie

(u. a. im Chemieanlagenbau) ist ständig im Wachsen begriffen. Dies gilt nach wie vor auch für den althergebrachten Ziegel, zumal unsere Möglichkeiten bei großformatigen, gut wärmedämmenden Steinen mit großem Hohlraumanteil noch keineswegs erschöpft sind. Außerdem bilden hartgebrannte Ziegel für Spezialzwecke (z. B. Schornsteine) bislang eine unentbehrliche Grundlage. Die Selbstkosten der Ziegelherstellung liegen allerdings gegenüber dem Kalksandstein (Silikatbeton) etwa um 40 % höher.

Heute zählt man zur Keramik auch silikatfreie Sinterprodukte aus bestimmten Oxiden, Karbiden, Siliziden, Boriden und Nitriden. Aus derartigen Grundstoffen wurden in den letzten Jahren keramische Hochtemperaturwerkstoffe entwickelt, die hohe Warmfestigkeit, günstiges Korrosionsverhalten, sehr gute Oxydationsbeständigkeit und auch einen bemerkenswerten Thermoschock- und Schlagwiderstand in sich vereinen. Es gibt darunter Substanzen, deren Festigkeit erst oberhalb von 1400 bis 1600°C abzusinken beginnt. Si-



Keramische Werkstoffe sind vielversprechende korrosionsbeständige Materialien auch für den Chemieanlagenbau. Hier die Destillationsanlage für Wasserstoffperoxid im VEB Eilenburger Chemie-werk.

litzium-Aluminium-Oxynitride mit hoher Dichte, bei denen bis zu 65% Al_2O_3 in das Si_3N_4 -Gitter aufgenommen werden, erhält man z.B. durch einfaches Pressen der entsprechenden Pulver bei 1700°C. Das Material kann wiederholt von 1200°C in kaltes Wasser getaucht werden und zerspringt dabei nicht. Man kann darin Eisen, Kupfer, Aluminium und andere Metalle schmelzen, ohne daß ein Angriff erfolgt. Die große Vielfalt neuer Verbindungen im System Silizium-Aluminium-Stickstoff-Sauerstoff ist bemerkenswert. Es ergibt sich fast eine Analogie zur Familie der Silikate.

Zu den Oxidkeramiken gehören auch die aus Fe_2O_3 und Oxiden zweiwertiger Metalle erzeugten Ferrite, die als Bauelemente der Speicher- und Nachrichtentechnik unentbehrlich sind. In der DDR entwickelte transparente

Brennerrohre aus Aluminiumoxidkeramik für Natriumdampflampen, die als moderne Lichtquellen auf Straßen, Baustellen und Bahnhöfen eingesetzt werden, bringen eine Strom-einsparung von 40%.

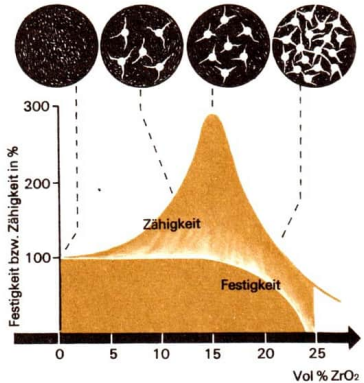
Extrem ausdehnungsarme, thermobeständige Keramik- und Porzellanmassen mit geringem Lithiumgehalt sowie Silizide von Titan-, Chrom-, Vanadin- und Nioblegierungen waren Nebenprodukte der Forschungsarbeiten zur Entwicklung der Weltraumtechnik. Seit etwa 1972 werden sie in zunehmendem Maße auch für den allgemeinen Industriebedarf hergestellt.

Als hochtemperaturfeste Materialien für die Brennkammern von Raketentriebwerken und für Zerspanungswerkzeuge haben die Cermets an Interesse gewonnen. Das sind metallkeramische Verbundwerkstoffe, die pulvermetallurgisch aus Metallen (z. B. Fe, Cr, V, Mo, W) und Metalloxiden (besonders Al_2O_3) sowie Karbiden, Boriden, Nitriden oder Siliziden hergestellt werden. Sie vereinigen die Eigenschaften von Keramiken und Metallen in sich.

Auch der Einsatz keramischer Spezialwerkstoffe in Faserform (zur Verstärkung von Kunststoffen) und als Schäume geringer Dichte wird allmählich weiter ansteigen.

Die bisherige Entwicklung, insbesondere der klassischen Keramiken, kann man trotz der großen Fortschritte vielleicht am besten durch die Worte »zuviel Kunst und zuwenig Wissenschaft« kennzeichnen. Bis heute sind die Beziehungen zwischen Eigenschaften, Struktur und chemischer Zusammensetzung noch immer nicht völlig bekannt. Die praktisch erreichten Zerreifestigkeiten liegen oft zwei bis drei Zehnerpotenzen unter den theoretischen Werten. Als wesentliche Ursache werden Verunreinigungen und Strukturstörungen in den aufbereiteten Ausgangsmaterialien genannt. Gerade diese Mängel weisen darauf hin, daß besonders auch die Keramiktechnologien ihre Leistungsgrenzen bislang nicht erreicht haben. Die Prozesse Brennen, Sintern, Schmelzen und Blhen bieten noch zahlreiche Möglichkeiten zur Optimierung. Vielleicht wird man auch eines Tages auf das Brennen verzichten, wenn nämlich feste, dichte Keramiken oder komplette Keramik-Metall-Verbindungen mit Hilfe neuartiger chemischer Reaktionen hergestellt werden können. Aber wie auch immer, durch kontrollierte Beeinflussung der Zusammensetzung und der Mikrostruktur wird es in der Zukunft sicherlich gelingen, die Schwächen der keramischen Werkstoffe – Brüchigkeit und Empfindlichkeit gegen Schlag- und Schockeinwirkung – zu überwinden. Man hofft darüber hinaus, auch das Temperatur- und Festigkeitsverhalten weiter an die theoretischen Grenzen heranzubringen zu können.

In der DDR ist die Forschung auf diesem Gebiet in den Keramischen Werken Hermsdorf konzentriert, die ihre Produkte in 40 Länder der Erde exportieren. Die enge Zusammenarbeit mit Partnerbetrieben aus den sozialistischen Ländern, insbesondere im Rahmen der RGW-Vereinigungen »Inter-elektro« und »Interelektrotest«, läßt bei der Weiterentwicklung dieser Werkstoffklasse in der Zukunft noch viele interessante Ergebnisse erwarten. Das ist für uns um so bedeutsamer, als unser Land über eine sehr gute Rohstoffbasis zur Erzeugung derartiger Materialien verfügt.

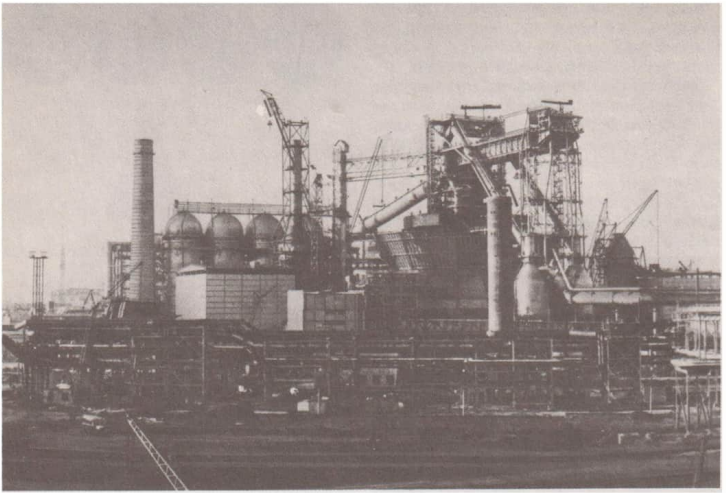


Ein bedauerlicher Geburtsfehler aller Keramiken ist ihre Sprödigkeit. Man versucht sie nicht mehr nur durch keramikgerechtes Konstruieren zu überwinden, sondern auch durch eine Modifizierung des Materials selbst. Mit Hilfe von feinverteiltem Zirkondioxid (ZrO_2)-Partikeln werden nicht zusammenhängende, zhigkeitserhhende Mikrorisse von ca. $2\mu m$ in einer Aluminiumoxid-Keramik erzeugt. So kommt man zu zähen Produkten, die auf bestimmten Gebieten (z.B. Schaufeln von Gasturbinen) vielleicht auch Metalle ersetzen können.

Mit der rationalen Nutzung der vorhandenen Potenzen schaffen wir eine wesentliche Voraussetzung, um unsere weitgesteckten Aufgaben nicht nur im Gebudebau, sondern auch in der Produktion von Apparaten und Ausrüstungen zu erfüllen. Für diese Zwecke noch wichtiger ist aber die Entwicklung der Eisenwerkstoffe. Deshalb heißt unsere nächste Überschrift:

Der Hochofen am Ende des 20. Jahrhunderts

Die moderne Zivilisation steht heute auf einer Säule von mehr als einer halben Milliarde t Eisen und Stahl, die 1980 bereits auf 850 Mill.t angewachsen sein wird. Der Anteil des Eisens an den im Weltmaßstab verarbeiteten Metallen wird deshalb auch in der Zukunft weit über 90% liegen.



Der zur Zeit weltgrößte Hochofen steht in Kriwoi Rog. Er hat ein Fassungsvermögen von 5000 m³ und produziert jährlich 4 Mill. t Roheisen. In Tscherepuzewez entsteht ein weiterer Ofen dieser Größenordnung. Mit derartigen Anlagen baut die UdSSR ihre führende Position im Weltmaßstab (etwa 150 Mill. t Rohstahl 1975) immer weiter aus.

Vor ungefähr 180 Jahren wurde der erste deutsche Kokshochofen angeblasen, in dem man Eisen durch Reduktion oxidischer Erze gewann. Sehen wir uns gegenwärtig in den Hüttenwerken um, so müssen wir feststellen, daß dort noch immer Hochöfen stehen, die im Prinzip nicht anders arbeiten als ihre Urahnen. Das hat einen sehr einfachen Grund: Die Wirtschaftlichkeit des Hochofens ist nämlich bis auf den heutigen Tag unübertroffen. Und trotz des beachtlichen Alters wird der Hochofen nach Ansicht der meisten Fachleute auch zukünftig noch konkurrenzfähig bleiben. Dies soll durch eine systematische Senkung des spezifischen Koksverbrauches, durch Einsatz günstigerer Energieträger, durch einen höheren Nutzinhalt, durch eine bessere Homoge-

nität und Reinheit des Roheisens und durch die Anwendung moderner Rechentechnik erreicht werden.

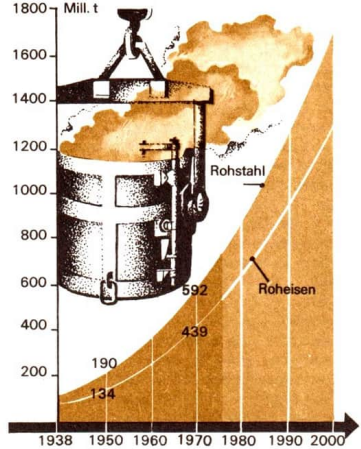
Im Jahre 1950 lag die Ofenleistung im Ruhrgebiet bei 500 t Roheisen pro Tag, heute jedoch sind 5000 t und in der internationalen Spitze (Kriwoi Rog, UdSSR, 1975) sogar 11 200 t/Tag (entsprechend etwa 4 Mill. t/Jahr) erreicht. Die Roheisenproduktion der DDR lag vergleichsweise nur bei 2,3 Mill. t.

Den Kokeinsatz pro Tonne Rohstahl, der 1955 bei 933 kg und 1970 bei 500 bis 550 kg lag, will man bis 1980 um weitere 40 bis 60% senken. Diese Zielstellung scheint real, denn bereits heute kommen einige japanische Großhochöfen mit nur 400 kg Koks je Tonne Stahl aus, und sogar Werte um 370 kg/t hat man versuchsweise erreicht. Etwa ab 1980 wird damit gerechnet, daß der jährliche Weltkoksbedarf trotz gesteigerter Roheisenproduktion mit 220 bis 225 Mill. t ungefähr konstant bleiben wird. Andere Schätzungen erwarten eine Steigerung auf rund 290 Mill. t.

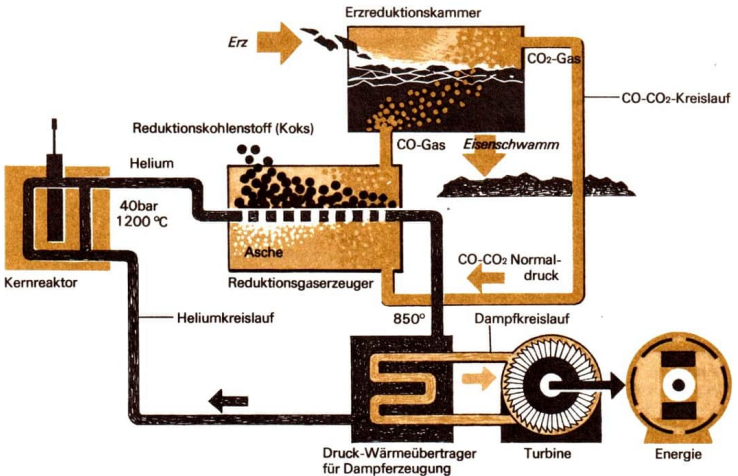
Eine koksfreie Alternative der Eisenerzeugung außerhalb des klassischen Hochofens

bietet die Direktreduktion. Darunter faßt man Verhüttungsverfahren zusammen, bei denen die Reduktion ausschließlich im festen Zustand erfolgt. Gegenüber der herkömmlichen Eisenerzverhüttung haben direkte Reduktionsverfahren den Vorteil, daß das nachträgliche Verringern des Kohlenstoffgehalts im Roheisen durch das sogenannte »Frischen« entfällt. Das entstehende Produkt ist Eisenschwamm, der in fester Form und etwa in derselben äußeren Gestalt anfällt wie das

Zukünftige Eisenschwammerzeugung im integrierten Kernkraftwerk-Hüttenkombinat nach einem Zweikammerprozeß. Im Heliumkreislauf wird die primär bei der Kernspaltung erzeugte Wärme auf den Reduktionsgaserzeuger übertragen, wo zwischen den heliumführenden Rohren in einer CO₂-CO-Atmosphäre Koks nach unten rutscht. Im CO₂-CO-Kreislauf wird die Resttemperatur des Heliums (850 °C) in Dampf umgewandelt, dessen Energie zur Stromerzeugung genutzt wird. Im CO₂-CO-Kreislauf wird das CO₂-Gas im Reduktionsreaktor vollständig zu CO reduziert und dieses der Erzreduktionskammer zugeführt. Das Abgas geht in den Reduktionsgaserzeuger zurück.



Entwicklung der Stahl- und Eisenerzeugung seit 1938 im Weltmaßstab mit Prognoseversuch.



eingesetzte Eisenerz. Eisenschwamm wird vornehmlich in Elektrolichtbogenöfen zu Stahl weiterverarbeitet.

Nachdem die Verfahren der Direktreduktion schon um 1960 einmal sehr aktuell waren, in ihrer Entwicklung aber durch die raschen Fortschritte des Sauerstoffaufblasverfahrens als moderner Methode zur Reduzierung des Kohlenstoffgehalts im Roheisen abgebremsst wurden, spielen sie heute in den internationalen Prognosen der Eisenschwamm wieder eine große Rolle. Bei den meisten Prozessen (unter anderem Midrex, Armco, Purofer, Hyl) werden Eisenerzpellets durch ein z. B. aus Erdgas gewonnenes Reduktionsgas (Wasserstoff oder Wasserstoff-Kohlenmonoxid-Gemische) unterhalb 1000 °C meist kontinuierlich zu Eisenschwamm umgewandelt. Es gibt aber auch Drehofenanlagen, die mit festen Brennstoffen als Reduktionsmittel betrieben werden. Die Leistungen liegen heute bei etwa 1000 t/Tag. Als nächstes sollen 2000-t-Kapazitäten errichtet werden.

Im Jahre 1969 produzierten die Direktreduktionsanlagen rund 2,3 Mill. t Metall. Das entsprach etwa 0,6% der Weltroheisenproduktion. 1973 betrug die Kapazität der Direktreduktion schon 5 Mill. t, also etwa 1% der Roheisenerzeugung. Bis 1980 sollen 29 Mill. t/Jahr oder 4,5% (bei Unterstellung einer vierprozentigen Zuwachsrate der Roheisenproduktion) erreicht sein. Obgleich nach 1985 die kokslosen Verfahren weiter vordringen werden, wird die Stahlindustrie bis zur Jahrtausendwende im wesentlichen noch auf Kohlebasis mit Hilfe des Hochofens reduzieren.

Durch eine Verringerung des Kohlenstoffgehalts im Roheisen von über 4% auf weniger als 1,7% entsteht aus dem Eisen der Stahl. Die Veteranen der Stahlgewinnungstechnik, nämlich das Thomas- und das Siemens-Martin-Verfahren, zeigen schon seit Anfang der 60er Jahre eine rückläufige Tendenz, aber sie behaupten vorläufig noch – wenn auch mit knappem Vorsprung – ihre führenden Positionen. In der Zukunft wird das aus dem Thomasverfahren entwickelte Sauerstoffaufblasen wegen seiner größeren Wirtschaftlichkeit und der besseren Stahlqualität weiter in den Vordergrund rücken. Man rechnet damit, daß es etwa im ersten oder zweiten Jahrzehnt

des nächsten Jahrhunderts seinen Kulminationspunkt erreicht. Das Verfahren von übermorgen aber und damit die Ablösung der Kombination Hochofen-Sauerstoffblasen könnte das Elektrostahlverfahren in Verbindung mit der Direktreduktion des Eisenerzes werden. Dem Elektrostahl sagt man besonders im Hinblick auf den bevorstehenden Durchbruch der Kernenergie und der damit erwarteten Reduzierung der Strompreise eine gute Zukunft voraus. Die schon im Einsatz befindlichen Elektroöfen wie Plasmalichtbogen-, Hochfrequenz- und Elektronenstrahlöfen werden in den 80er Jahren ihre Leistungen stark erweitern. Dazu werden Verfahren kommen, die sich heute noch im Forschungsstadium befinden, wie beispielsweise die Stahlgewinnung bei 5000 bis 6000 °C unter Ausnutzung seines elektrischen Widerstandes.

Der Energieverbrauch pro Tonne Stahl liegt zwischen 300 und 400 kWh. Der Prozeß ist also ausgesprochen energieintensiv. Aus diesem Grunde wird in der zukünftigen Eisenhütten-technik der Atomkernenergie große Bedeutung beigemessen. Dabei wäre es im Interesse einer maximalen Energieausnutzung wünschenswert, die primäre Kernspaltungswärme für die Eisenerzreduktion und Stahlgewinnung direkt nutzbar zu machen. Zur Zeit bereitet das noch große Schwierigkeiten. So sind für die Herstellung des reduzierenden Gases aus dem Brennstoff sehr hohe Temperaturen erforderlich. Dabei könnte die Kernspaltungswärme entweder direkt (z. B. vom primären Wärmeträger Helium zunächst an flüssiges Blei und von hier unmittelbar an den Koks bzw. das Koks-Erz-Gemisch) oder indirekt über Wärmeübertrager aus Siliziumkarbidrohren zugeführt werden. Reaktorseitige Heliumtemperaturen von 1200 °C würden Arbeitstemperaturen von 900 °C ermöglichen und damit einen hohen Reduktionsgrad des Eisenerzes sichern. Die in Betrieb befindlichen Kernreaktoren bringen 950 bis 1000 °C. Man nimmt jedoch an, daß mit den künftigen Hochtemperaturreaktoren die erforderlichen 1200 °C erreicht werden können.

Bisher haben sich die Hüttenwerkskapazitäten in den industrialisierten Ländern alle 20 Jahre etwa um den Faktor 2,5 vergrößert.

Mitte der 60er Jahre brachten 25 Eisenhüttenwerke mit einer Leistung von über 4 Mill.t einen Anteil von etwa 50 % der internationalen Gesamtproduktion. Jetzt geht der Trend immer stärker zu 5 Mill.-t- und noch größeren Kapazitäten, in denen alle Prozeßstufen von der Hochofenbeschickung bis zur Stahlverformung im Walzwerk integriert sind. Gleichzeitig ermöglicht das aufkommende Direktreduktionsverfahren die Prognose, nach 1980 rentable Werke mit Kapazitäten zwischen 0,5 bis 1,5 Mill.t/Jahr aufbauen zu können. Eine solche Entwicklung erwartet man besonders in den heute noch wenig industrialisierten afrikanischen und lateinamerikanischen Ländern.

Im Jahre 1900 wurde Stahl nur in zwölf Staaten hergestellt, 1968 gab es bereits 62 Produzenten, und 1980 werden voraussichtlich mehr als 75 Länder unserer Erde Stahl erzeugen. Dieser Kreis könnte sich besonders bei einem Durchbruch der Direktreduktionsverfahren in den 80er und 90er Jahren noch einmal stark erweitern. Das wäre nicht nur wünschenswert, sondern für den Fortschritt der Menschheit sogar notwendig, denn Eisen und Stahl sind als Grundlage der industriellen Entwicklung unentbehrlich. Zugleich aber ist selbst bei oberflächlicher Beobachtung auch ein anderer Trend nicht zu übersehen, der wie folgt charakterisiert werden kann:

Die Werkstoffpalette wird immer breiter

Alle Gedanken, die sich mit neuen Produktionsverfahren beschäftigen, haben immer wieder einen gemeinsamen Schnittpunkt, und der heißt Werkstoff. Die Erkenntnis beispielsweise, daß sich ein chemisches Verfahren bei höheren Temperaturen oder Drücken oder in einem aggressiven Medium mit einer besseren Ausbeute realisieren läßt, nützt zunächst gar nichts, wenn der Werkstoff für den Bau des Reaktors nicht zur Verfügung steht. In dieser Situation muß entweder die Produktionsidee abgewandelt werden, oder es wird ein neuer Werkstoff entwickelt. Die verfahrenstechnischen Möglichkeiten waren bisher fast immer größer als das Werkstoffangebot. Aber die in den letzten Jahren gewonnenen

Tabelle 10. Haupttendenzen der Werkstoffentwicklung

1. Zunehmende Schwerpunktverlagerung von natürlichen auf synthetische Werkstoffe
2. Wachsendes Angebot von Werkstoffen mit speziellen Eigenschaftsbildern für eine immer breiter werdende Einsatzpalette
3. Zunehmende Entwicklung von Werkstoffen mit erhöhter Zuverlässigkeit und dadurch bedingter Möglichkeit einer besseren Ausnutzung
4. Steigende Entwicklung und Anwendung von Verbundwerkstoffen

Erkenntnisse bieten eine gute Basis für die zielgerichtete Entwicklung von Werkstoffen mit speziellen, gewünschten Eigenschaften. Daraus erklärt sich der Trend, die Werkstoffforschung in der Zukunft stärker den technischen Problemstellungen unterzuordnen. Neben Stählen von durchschnittlicher Qualität werden deshalb auch immer mehr solche mit hochgezüchteten Sondereigenschaften produziert werden.

Bei der Entwicklung ultrahochfester Werkstoffe wurden große Fortschritte gemacht. Stähle mit 18% Nickel, 8% Kobalt und 3 bis 5% Molybdän verbinden sehr gute Zähigkeit mit höchsten Festigkeiten. Bei diesen Werkstoffen liegt das Verhältnis von Festigkeit zu Dichte manchmal höher als bei bestimmten Aluminium- und Titanlegierungen! Ihr Hauptanwendungsfeld ist bisher noch die Luft- und Raumfahrttechnik.

Eine korrosionsfeste Superlegierung, die selbst unter Sauerstoff bis zu einer Temperatur von etwa 1050°C beständig ist und sogar von Schwefel bei höheren Temperaturen nur wenig geschädigt wird, schufen amerikanische Wissenschaftler. Die Legierung enthält 62 bis 74% Kobalt, 20 bis 30% Chrom und etwa 6 bis 8% Aluminium. Sie läßt sich gießen und im Gegensatz zu vergleichbaren Produkten auch schmieden. Oberhalb von etwa 1100°C tritt auch bei Speziallegierungen Verzunderung und Festigkeitsabbau ein, so daß man dann auf keramische Werkstoffe ausweichen muß.

Für spezielle Zwecke wurden neuartige Knet- und Gußlegierungen bereitgestellt. Erfolgreiche Forschungen bei der Weiterentwicklung von Chrom-Nickel-Stählen, die be-



Aluminium wird geschmolzen.

sonders für die hohen Korrosionsbeanspruchungen im Chemieanlagenbau geeignet sind, führten zur Verbesserung der Gefügestabilität sowie der Zeitstandswerte und Umformbarkeit.

Beachtliche Fortschritte konnten mit der chemothermischen Behandlung metallischer Werkstoffe erreicht werden. So führte die Qualifizierung der Nitrierverfahren zu Dauerfestigkeitssteigerungen um 80% und zu einer starken Erhöhung der Verschleißfestigkeiten. Alles in allem sind aber die atomaren Bindungsfestigkeiten immer noch um das 100- bis 1000fache größer als die Zerreiß-

festigkeiten der besten Stähle. Für die Metallurgen bleibt also noch viel zu tun. Zwar wird man die Eigenschaften monokristalliner Metallfäden auch zukünftig nicht erreichen, aber mit Festigkeiten bis etwa 42 N/mm^2 kann doch gerechnet werden. Daneben steht die Verbesserung der Zerspan- und Schweißfähigkeit sowie der Feuer- und Korrosionsbeständigkeit unserer Stähle auf der Tagesordnung.

Die Entwicklung hochfester Aluminiumlegierungen ebnete den Weg für den Einsatz des Aluminiums auch in stark beanspruchten Konstruktionen. Dazu treten neuerdings immer mehr auch Titanwerkstoffe, die besonders für die Luft- und Raumfahrt (anstelle der nur bis 320°C einsetzbaren Aluminiumlegierungen), wegen ihrer ausgezeichneten

Tabelle 11. Alternative Kombinationsmöglichkeiten für Verbundwerkstoffe
(nach Seichter 1972)

Aufbauform			Matrixsystem		Schichtsystem	
Grundwerkstoffkombinationen	Art	Hauptanwendung bzw. Vorteile	Art	Hauptanwendung bzw. Vorteile		
Metall – Metall	dispersions- gehärtete Legierungen	Hochtemperatur- festigkeit	verzinn- tes Eisenblech	Korrosions- beständigkeit		
Metall – anorganischer Stoff	Al ₂ O ₃ -Whisker in Metall	Festigkeit, Temperatur- beständigkeit	keramikbeschich- tetes Metall	korrosions- und oxydations- beständig		
Metall – organischer Stoff	Metallfasern in Kunststoff	Formmassen hoher Festigkeit	kunststoff- beschichtetes Metall	Korrosionsbestän- digkeit, Wärme- dämmung		
Anorganischer Stoff – anorganischer Stoff	Glimmer in Glas	Isolation	Sicherheitsglas	Bruch unter Kontrolle		
Anorganischer Stoff – organischer Stoff	glasfaser-, borfaserverstärkter Kunststoff	Leichtbauteile hoher Festigkeit	geschäumter Kunststoff zwischen GFK-Platten	isolierende Bauteile		
Organischer Stoff – organischer Stoff	Teflonfaser in Kunststoff	nichtmetallische Lager	geschäumter Kunststoff zwischen Kunst- stoffplatten	Wärmedämmung		
Metall – anorganischer und organischer Stoff	–	–	Metallwaben- konstruktion zwischen glas- faserverstärkten Kunststoff- platten	Leichtbau		

Korrosionsbeständigkeit aber auch für die Chemieindustrie geeignet sind. So stieg die Nachfrage nach Titanmaterial in Großbritannien innerhalb von nur zehn Jahren um nicht weniger als etwa 800%. 1955 betrug die Titanweltproduktion erst 5000 t. Heute wird allein von der Sowjetunion, dem größten Titanerzeuger vor den USA und Japan, die 10fache Menge dieses zukunftsreichen Metalls bereitgestellt.

Eine neuartige Klasse von Nickel-Titan-Legierungen sind die Nitinole. Bringt man sie in eine beliebige Form (z. B. in die einer Spirale) und stabilisiert diese durch kurzes Erhitzen, so behalten sie die Form »im Gedächtnis«, auch wenn sie danach kalt weiterverformt werden. Wenn man das Werkstück

sodann erwärmt, nimmt es die ursprüngliche Gestalt mit allen Biegungen und Rundungen als bald wieder an. Für die Nitinole werden noch Anwendungen gesucht. Voraussichtlich wird man sie für Zwecke der Temperaturregulation einsetzen können. Es ist auch vorgeschlagen worden, Sicherheitsschalter daraus anzufertigen sowie Antennen für Raumfahrzeuge, die – zusammengelegt in den Welt- raum befördert – ihre vorprogrammierte Form annehmen, sobald sie einer intensiven Sonnenstrahlung ausgesetzt werden.

In den nächsten 25 Jahren wird die Verarbeitung von Metallpulvern einen großen Aufschwung nehmen, wobei für bestimmte Zwecke zugleich auch bessere Werkstoffeigenschaften erreicht werden können. Mit der

Pulvermetallurgie rückt sogar das Spritzpressen und Extrudieren von Stahl zu Profilen beliebiger Art in den Bereich des Möglichen. Bandstahl könnte man kontinuierlich wie Papier herstellen!

Alle Beobachter teilen die Ansicht, daß der allgemeine Werkstofftrend zur verstärkten Anwendung von Verbundmaterialien geht. Heute schon existieren unzählige Typen, und ihre Eigenschaften sind vielfältig wie die zugrunde liegenden Kombinationsmöglichkeiten selbst. Sie beziehen Glas, Holz und Metall ebenso ein wie Kunststein und Plast. Aber so modern die Verbundwerkstoffe auch anmuten mögen, sie sind dennoch sehr alt. So wurde schon der 90 m hohe Turm von Babylon (600 v. u. Z.) aus stark mit Ziegenhaaren verstärkten Lehmquadern errichtet. Dieses Kombinationsprinzip, das auch beim Eisenbeton und beim Holz (Zellulosefasern in amorphes Lignin eingebettet) anzutreffen ist, bringt hervorragende Festigkeitseigenschaften.

Aber die Ära der neuzeitlichen Verbundwerkstoffe wurde erst Anfang der 40er Jahre mit den glasfaserverstärkten Kunstharzen eröffnet, und die Entwicklung der »fortgeschrittenen« Verbunde begann sogar erst in den frühen 60er Jahren, als man es nämlich gelernt hatte, neuartige anorganische Fasermaterialien aus Bor, Siliziumkarbid, Kohlenstoff, Graphit, Aluminiumoxid usw. in organische oder metallische Matrizen einzulagern. Bei den Fasern sind heute neben den polykristallinen Fäden die Whisker am vielversprechendsten. Das sind künstlich gezüchtete, monokristalline, etwa bis 1 cm lange Fäden mit einem Durchmesser von 1 bis 25 µm, die z. B. aus Aluminiumoxid, Siliziumkarbid, Berylliumoxid oder Borkarbid hergestellt werden können. Manche dieser anorganischen Fasermaterialien sind leichter als Aluminium, dabei aber fester als der beste Stahl. (Ein 3 cm starkes Seil aus Borfibern würde z. B. ausreichen, um ein vollbeladenes vierstrahliges Düsenflugzeug zu tragen.) Gleichzeitig haben diese Produkte Hochtemperatureigenschaften, wie sie bisher von keinem anderen Werkstoff erreicht werden. So sind Graphitfasern noch bei 1500°C fester als Stahl bei Raumtemperatur!

Gegenwärtig konzentriert sich das Hauptinteresse (besonders der Raumfahrtindustrie)

auf Bor- und Graphitfasern sowie auf Saphir(Al_2O_3)-Whisker. Die ökonomisch vertretbare Massenproduktion dieser zukunftsreichen Materialien gibt noch Probleme auf, aber ihre Verbilligung hat bereits eingesetzt. Bei Graphitfasern sind heute schon weniger als ein Zehntel des Anfangspreises erreicht.

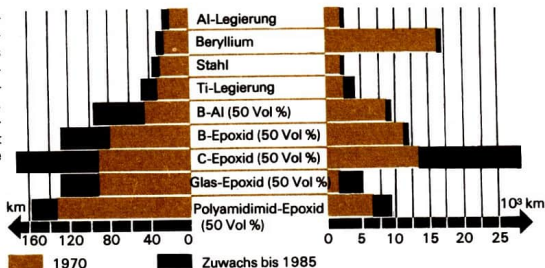
Durch die Kombination von poly- oder monokristallinen Fäden mit polymeren Matrizen (wie Polyestern, Phenol- und Epoxidharzen usw.) kann man Werkstoffe erhalten, die 4- bis 5mal leichter sind als Stahl, obwohl sie eine ähnliche Festigkeit besitzen. Um jedoch die sehr guten Hochtemperatureigenschaften der anorganischen Fasern auszunutzen, kommt man nicht umhin, teure Metallmatrizen aus Nickel, Kobalt, Eisen, Chrom, Titan, Aluminium und deren Legierungen einzusetzen. Sie bringen allerdings zugleich auch eine höhere Elastizität, Zähigkeit und Härte mit ein. Durch Borfäden verstärktes Aluminium beispielsweise hat bei 500°C dieselbe Festigkeit wie Stahl bei Zimmertemperatur. Sehr aussichtsreich erscheint übrigens auch die Einbeziehung keramischer Matrizen in diese Forschungen; aber hier steht man noch ganz am Anfang.

Die niedrige Dichte der Faserverbundwerkstoffe bringt ausgezeichnete spezifische Festigkeitswerte, die letztlich für die erfolgreiche Anwendung (z. B. für Sportausrüstungen, transportable Brücken und Unterkünfte, Luft- und Raumfahrtobjekte, Reaktor- und Behältertechnik) den Ausschlag geben. Speziell whiskerverstärkte Baustoffe sind die leichtesten und dabei zugleich härtesten und geschmeidigsten bekannten Materialien überhaupt.

Schon bis heute ist in den Laboratorien fast jedes nur denkbare Faser- und Whiskermaterial mit jeder nur vorstellbaren Matrizekombinert worden. Dabei wurden Zugfestigkeiten von 700 N/mm² und Elastizitätsmodule von über 400 000 N/mm² erreicht. Bis zum Jahre 2000 will man aber noch um das 10fache bessere Verbunde entwickelt haben!

Vielleicht ist der Traum vom »Superverbundwerkstoff«, der 10mal fester als unsere besten Spezialstähle sein soll, ebenso ein Traum wie der von der »Superlegierung«. Die Vermutung jedoch, daß sie als »Werkstoffe des 21. Jahrhunderts« zahlreiche Konstruktio-

Voraussichtliche Steigerung der spezifischen Zugfestigkeit (links) und des spezifischen Elastizitätsmoduls (rechts) verschiedener Werkstoffe bis 1985. Den Kohlenstoff- und Bor-Epoxidverbunden schreibt man besonders günstige Zukunftsaussichten zu.



nen ermöglichen werden, die heute noch als undiskutabel gelten, hat vieles für sich.

Aber selbst der phänomenalste Zukunftswerkstoff wird auf die Dauer nicht dem zerstörenden Einfluß der mannigfaltigen Umweltbedingungen widerstehen können. Das ist beim Aluminium nicht weniger unangenehm als beim Beton, aber ganz besonders ärgerlich ist es bei Eisen und Stahl. Deshalb steht die Arbeit vieler Chemiker unter der Losung:

Kampf dem Rostteufel!

Solange der Mensch Gegenstände aus Eisen herzustellen vermag — und das sind nicht weniger als 4500 Jahre —, kämpft er gegen den Rost. Ein erfolgreicher Widerstand beginnt aber erst mit der Entwicklung der modernen Chemie. Trotzdem bildet die Korrosion der metallischen Werkstoffe auch heute noch eine Schadensquelle ersten Ranges. Der jährliche Eisenverlust wird auf nicht weniger als 15% der Weltstahlproduktion geschätzt. Jeder siebente Hochofen der Welt arbeitet also für den Rostteufel! In der DDR werden in jedem Jahr 300 000 t Stahl vom Rost »aufgefressen«. Damit ist das Rosten die wertmäßig bedeutendste Korrosionserscheinung überhaupt. Insgesamt schätzt man die jährlichen Korrosionsschäden in der Welt auf mindestens 50 Mrd. M. Durch primäre Korrosion gehen allein in unserer Republik jedes Jahr 1 bis 2 Mrd. M verloren. Dazu kommen weitere 2 Mrd. M auf Grund indirekter Verluste. Speziell in der chemischen Industrie entstehen durch die Korrosion oft hohe Produktionsausfälle und sonstige Folgeschäden, die unter Umständen nicht weniger als das 6- bis 10fache des Primärschadens ausmachen können. Kein Wunder also, daß man für Korrosionsschutzmaßnahmen oft mehr als 20% der Gesamtkosten einer Stahlkonstruktion aufwenden muß. Allein in der DDR waren Mitte der 70er Jahre 36 000 Anstreicher nur damit beschäftigt, den Rost zu bekämpfen. Aber die zu schützenden Stahlflächen werden sich bis 1985 verdoppeln. Was ist da zu tun?

Es ist einleuchtend, daß man zur Verhütung der Schäden nicht einfach den Arbeitskräfte- und Materialaufwand verdoppeln kann. Die Hauptaufgabe besteht vielmehr darin, neue und bessere Korrosionsschutzverfahren mit langlebigen Schutzschichten und rationelleren Auftragstechnologien zu entwickeln.

Die gebräuchlichsten Verfahren (in der DDR etwa 90% aller Schutzmaßnahmen) bedienen sich mehr oder weniger komplizierter Anstrichsysteme. Organische Schutzschichten nehmen dabei eine hervorragende Stellung ein. Ihre Entwicklung ging von den Ölanstrichen bis zu den heute dominierenden synthetischen Lacken, wobei Alkydharze gegenwärtig am meisten verwendet werden. In manchen Ländern machen sie ungefähr 50% aller Schutzanstriche aus. Aber auch wäßrige Polyvinylazetatdispersionen (PVAc-Latices), die nach dem Trocknen festhaftende und dabei zugleich mikroporöse, atmungsaktive Schichten auf Holz und Mauerwerk bilden,

erfreuen sich zunehmender Beliebtheit und rasch wachsender Produktionsziffern. Von den zukunftssträchtigen Entwicklungen der letzten Jahre seien die Anstrichsysteme auf Polyurethanbasis hervorgehoben. Das sind kalthärtende Reaktionslacke, die sich durch gute mechanische Festigkeiten und chemische Beständigkeit auszeichnen. Sie haften ebenso gut auf Metall wie auf Holz. Es ist deshalb kein Wunder, wenn sie mit ihren Zuwachsraten in der Spitzengruppe liegen.

Bei der Herstellung der sogenannten Lackfarben werden als färbende Prinzipien überwiegend unlösliche Pigmente eingesetzt, von denen man die weißen (vornehmlich Titandioxid) am häufigsten verwendet. Organische Farbstoffe benutzt man lediglich in ganz untergeordnetem Maße.

Normale Anstrichsysteme erreichen nur dann ihre optimale Wirkung, wenn sie auf eine blanke Oberfläche aufgetragen werden. Das verursacht hohe Kosten. Deshalb versucht man Korrosionsschutzsysteme zu entwickeln, die auch auf Rostflächen lange haften. Schon jetzt gibt es Anstrichstoffe mit Zinkzyanamid, das sich mit dem Rost zu Eisenzyanid umsetzt und diesen dadurch unschädlich macht. Bald werden die Spezialanstriche vielleicht in so vollkommener Weise mit dem Rost reagieren, daß er jeden Einfluß auf die Qualität der Beschichtung verlieren wird.

Bisher wurden Lacke gewöhnlich mit organischen Lösungs- und Verdünnungsmitteln aufgetragen, deren Verdunstung die Atmosphäre belastete. Man hat deshalb Methoden entwickelt, bei denen das Material in Form lösungsmittelfreier Flüssiglacke bzw. wasserverdünnter Lacke aufgebracht werden kann. Große Fortschritte hat die elektrostatische Pulverbeschichtung gemacht, bei der mit thermoplastischen und vernetzbaren Bindemitteln (besonders Epoxidharzen, PVC und Polyolefinen) schon Lackausbeuten bis zu 99% erreicht werden können. In den nächsten Jahren ist ein verstärkter Einsatz von Polyester und höheren Polyamiden zu erwarten. Man kann damit farbige oder transparente Schutzschichten von nur 0,02 mm Dicke aufbringen, deren Haftung sogar ihre Festigkeit übersteigt.

Neben den in manchen Ländern für die Autolackierung schon eingesetzten nicht-

wäßrigen Polyakrylatdispersionen stehen zukünftig auch niedrigviskose, lösungsmittelfreie Polyester zur Verfügung, die mit Isozyanaten und Aminoplasten härtbar sind. Die Verwendung von Wasserfarben für industrielle Zwecke wird in den nächsten Jahren große Fortschritte machen. Sogar bei Automobilen genügt der elektrolytisch aufgetragene Wasserfarbenanstrich allen Anforderungen. Er soll sogar bessere Beständigkeit, höheren Glanz und günstigeres Polierverhalten als eine Farbschicht auf Basis der üblichen Lacke besitzen.

In den nächsten 25 Jahren wird man viel unternehmen, um das Aushärten der organischen Anstrichsysteme zu verbessern. Die Strahlungsaushärtung auf ebenen Oberflächen hat besonders gute Aussichten, weil sie bis zu 200mal schneller und über 25% billiger ist als die konventionellen Methoden. Vielleicht gelingt es sogar, das Verfahren auch für kompliziertere Oberflächenstrukturen wie Flansche oder Kühlrippen weiterzuentwickeln.

Die chemische Industrie stellt 80 bis 90% aller für Korrosionsschutzmaßnahmen erforderlichen Produkte bereit. Andererseits ist die korrosive Beanspruchung der Bauteile in diesem Bereich besonders groß. Für diesen Bedarf werden neue Beschichtungswerkstoffe vor allem mit guter Beständigkeit bei hohen Temperaturen und im gesamten pH-Wert-Bereich benötigt.

Die Forschungspläne der Spezialisten beinhalten aber auch die Entwicklung schwer brennender Farben, abstreifbarer Beschichtungen für Transport oder Lagerung sowie feuchtigkeitsabweisender und insektizider Anstriche, die besonders für den Schutz von Holzwerkstoffen gedacht sind. In den letzten Jahren wurde über erfolgreiche Versuche zur Herstellung von Schutzschichten berichtet, die eine elektrische Leitfähigkeit zeigen. Ein von australischen Chemikern erprobtes Material besteht aus Kohlenstaub und einem speziellen Latex. Nach Angaben aus dem englischen Farblaboratorium Teddington sollen Silikate und andere anorganische Stoffe als Binder beteiligt sein. Mit derartigen leitfähigen Anstrichsystemen wäre es möglich, eine Zentralheizung sozusagen mit dem Pinsel zu verlegen: In die auf ganz normale

Weise aufgetragenen Farbschichten werden Elektroden eingebaut, über die man den Heizstrom einspeist. Mit leitender Farbe ließe sich auch die Herstellung gedruckter Schaltungen revolutionieren. Man könnte eine ganze Wandfläche zur Fernsehantenne machen, ebenso wie auch der Anstrich eines Autos in der Zukunft nicht nur eine Schutzschicht, sondern gleichzeitig seine Antenne darstellen könnte. Weiterhin kämen solche Materialien für einfach installierbare Einbruchs- und Feueralarmanlagen und noch später vielleicht sogar für wandgroße Fernsehbildschirme in Frage!

Die globalen Zuwachsraten bei Lacken und Farben lagen in den letzten Jahren um 5% (RGW 6 bis 8%). Das Weltproduktionsvolumen betrug 1972 rund 15 Mill. t, von denen 29% auf die USA und 15% auf die UdSSR entfielen. In den RGW-Ländern wird die Produktion im Zeitraum von 1970 bis 1980 auf über 170% ansteigen. Die Herstellung moderner Lackrohstoffe (wie Epoxidharze, Polyurethane, Chlorkautschukprodukte usw.) entwickelt sich wegen der komplizierten Rohstoffsituation relativ langsam, während der Bedarf an Alkydharzen, Zellulosederivaten und ungesättigten Polyestern leichter gesichert werden kann. Speziell in der DDR wird man versuchen, Korrosionsschutzstoffe in verstärktem Maße auch aus einheimischen Rohstoffen anzufertigen. Dazu müssen unter anderem die Voraussetzungen für den zunehmenden Einsatz von anorganischen Schutzschichten einschließlich der dazu erforderlichen produktiven Auftragsverfahren (Beispiel: Dünnschicht- und Induktionsemailierung) geschaffen werden.

Natürlich kann man Korrosionsschäden auch verhindern, wenn man anstelle von gewöhnlichem Stahl nichtrostende VA-Stähle mit reichlichen Chrom- und Nickelanteilen einsetzt. Eine billigere Alternative dazu ist die Bedampfung der Normalstähle mit wenigen tausendstel Millimeter dicken Schichten von Aluminium oder Chrom. So ergab sich nach dem zweiten Weltkrieg die Notwendigkeit, das für Konservendosen und viele andere Zwecke bis dahin benutzte Weißblech (mit Zinn beschichtetes Stahlblech) zu substituieren. Dafür wurde in den USA ein verchromtes Stahlblech entwickelt, das zur Herstellung von Bier- und

Getränkedosen eine breite Anwendung findet. In der DDR ist jetzt ein dem Weißblech gleichwertiges Erzeugnis auf der Basis von mit Aluminium bedampftem Bandstahl (EBAL) entwickelt worden. Damit könnten 60 bis 70% des Weißblechbedarfs unserer Republik gedeckt werden.

Für den Korrosionsschutz von Stählen wird aber noch eine ganz andere Forschungsrichtung stärker an Bedeutung gewinnen.

Dieser Weg besteht paradoxerweise darin, die Rostbildung nicht etwa durch wie auch immer geartete Schutzschichten zu verhindern, sondern sie im Gegenteil zu fördern. Dazu steuert man die chemische Zusammensetzung des »Rostes« so, daß nicht jenes berüchtigte, poröse Eisenoxid entsteht, unter dem die Zerstörung ständig weiter voranschreitet, sondern eine wetterfeste, vollkommen beständige Schicht. Nach zwei bis drei Jahren hört das Schutzrosten auf. Die ersten Stahlsorten mit derart bemerkenswerten Eigenschaften enthielten u. a. 0,7 bis 0,15% Phosphor, 0,25 bis 0,55% Kupfer, 0,50 bis 1,25% Chrom und 0,65% Nickel. Gegenwärtig verfügt man weltweit schon über insgesamt etwa 50 selbstschützende Stahlsorten. In der DDR läuft die Produktion korrosionsträger Stähle (KTS) seit 1965. Unsere neuesten Typen basieren auf nickelfreien Legierungen. Sie lassen sich wie üblicher Stahl verformen und schweißen. Der Aufpreis gegenüber normalem Baustahl beträgt 10 bis 30%. Er zahlt sich schon bei der Errichtung der Stahlkonstruktion wieder aus, weil die Konservierung entfällt. Ob für Waggonbau, Rohre, Behälter, Baumaschinen oder Maschendraht — überall sind solche wetterfesten Stähle von allergrößtem Interesse, denn sie sind absolut wartungsfrei. Besonders große Chancen haben sie im Stahlhoch- und Industriebau, wo man die Sicherheitszuschläge für das Abrosten wesentlich vermindern könnte. Heute werden in der DDR Freileitungsmaste nur noch aus KTS errichtet. Ebenso haben sie sich für Rohrbrücken, Silos und andere Objekte bewährt. Es ist zu erwarten, daß die Entwicklung selbstschützender Stähle noch große Fortschritte machen wird.

So interessant alle diese Lösungen auch sein mögen, die effektivste aller Korrosionsschutzmaßnahmen haben wir noch nicht ein-

mal angedeutet. Sie besteht darin, sich mit dieser Aufgabe schon bei der Projektierung etwas genauer zu befassen. In dieser Phase könnten nach schwedischen Auffassungen nicht weniger als 90% aller Korrosionsprobleme gelöst werden! Aber vorläufig verschenken wir noch viele dieser Möglichkeiten, und deshalb hat der Topf, in den wir alle hineinwirtschaften, an dieser Stelle noch ein ziemlich großes Loch. Es dürfte klar sein, daß daran bis zur Jahrtausendwende einiges verändert werden muß, und sei es dadurch, daß für die korrosionsgefährdeten Stoffe nicht nur bessere Schutzmaßnahmen erdnen, sondern auch herkömmliche Materialien gegen neue und beständigere Werkstoffe ausgetauscht werden. Die große Frage ist dabei freilich immer wieder:

Wer substituiert wen?

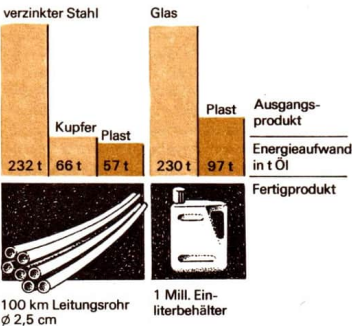
Aus den vorangegangenen Abschnitten wird deutlich geworden sein, daß die rasche Entfaltung der Chemie in den letzten 50 Jahren der Werkstoffentwicklung mächtige Impulse gegeben hat. Herkömmliche Materialien wie Glas, Keramik, Beton und Metalle wurden entscheidend verbessert und ihr Anwendungsfeld erweitert. Neue Materialien mit

hervorragenden Eigenschaften und Verarbeitungsmöglichkeiten kamen dazu. So entstand allmählich eine fast unübersehbare Fülle von Werkstoffen, deren wichtigste obendrein in riesigen Mengen produziert werden. Gleichzeitig trat immer deutlicher eine Erscheinung zutage, die es im Grunde zwar immer schon gab, die aber erst in der Periode der wissenschaftlich-technischen Revolution zu einem Phänomen wurde, das unter dem Namen Substitution heute fast jedermann geläufig ist.

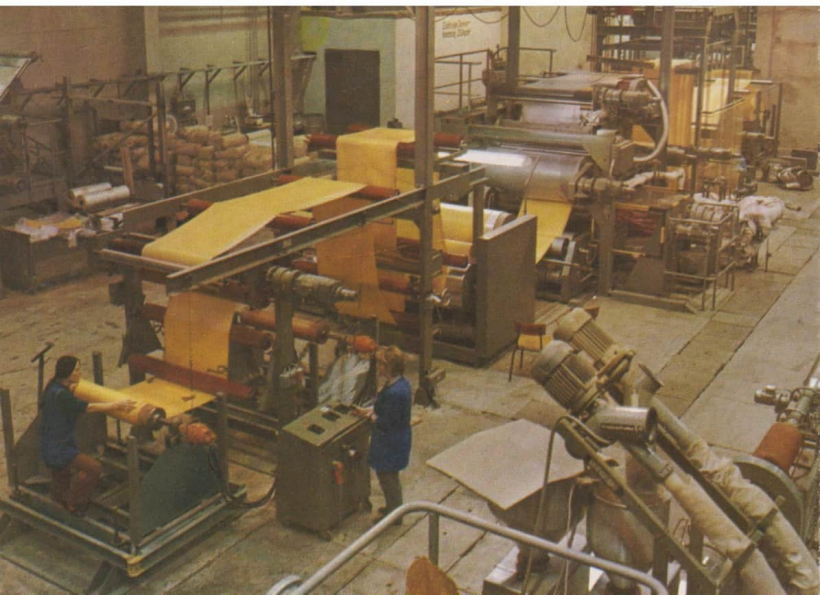
Ein Werkstoff wird immer dann durch einen anderen ersetzt, wenn das alte Material nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung steht und/oder wenn die Verwendung eines neuen Werkstoffs effektiver ist und/oder wenn ein gegebenes Bedürfnis mit dem neuen Werkstoff besser erfüllt werden kann als mit dem alten. In früheren Jahren haftete dem Substitutionsgedanken oft der unangenehme Beigeschmack einer Notlösung an, weil die neuen Materialien zunächst fast immer auch schlechter als die zu ersetzenden Naturprodukte waren. So wurde die Kunstseide an der Jahrhundertwende noch als eine Kuriosität verlacht, und die in Deutschland nach dem ersten Weltkrieg entwickelte Zellwolle war zunächst wirklich nur ein minderwertiger Ersatz. Künftig wird es jedoch immer mehr darum gehen, herkömmliche Mangelwerkstoffe nicht schlechthin durch irgendwelche neuen Werkstoffe zu ersetzen, sondern zugleich auch das Material besser zu nutzen, die Fertigungsprozesse zu rationalisieren und die Gebrauchseigenschaften des jeweiligen Endproduktes zu verbessern. Nur auf diese Weise können positive ökonomische Effekte entstehen.

Substitutionsprozesse verlaufen grundsätzlich in einer Vorzugsrichtung, nämlich vom herkömmlichen zum effektiveren Material. Aus diesem Grunde stehen heute die neuen Chemiewerkstoffe im Mittelpunkt der Betrachtungen. Mehr als 95% aller Veröffentlichungen über Werkstoffsubstitution befassen sich mit dem Einsatz von Plasten, die in wachsendem Umfang besonders an die Stelle von Metall, Holz, Leder und — mit Einschränkungen — auch von Papier treten. Etwa ein Drittel des internationalen (und auch unseres eigenen) Plasteverbrauchs entfällt auf die

Der Einsatz von Plasten anstelle traditioneller Materialien hilft Energie sparen (Werte in Tonnen Öl).







In der Zusammenarbeit von Bauakademie und Bunawerken entstand ein modernes Leichtbauverfahren für Gebäudegrößen von über 1000 m² Grundfläche. Der Einsatz von sehr leichten Schaumpolystyrol-Holz-Kombinationswerkstoffen führt zu einer Senkung der traditionellen Bauleistungen sowie der Transport- und Montagekosten um etwa 35 %. Die Vorfertigung von 10–15 m² großen Bauelementen ermöglicht neue konstruktive Lösungen.

Moderne Prägelinie für Polyolefinschaumfolie in Leuna. Das strapazierfähige und pflegeleichte Material ersetzt und ergänzt bisherige Kunstledertypen auf PVC-Basis. Auf ähnlichen Anlagen wird auch Knautschlackleder aus Polyurethanen hergestellt.



Die bunte Palette der Plastartikel ist aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken.

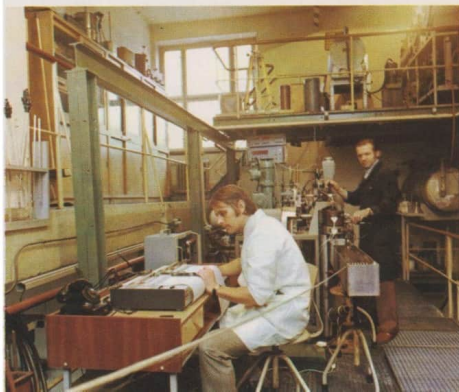
Schrumpffolien sind kalt gereckte thermoplastische Kunststoffolien, die sich bei einer Wärmebehandlung wieder auf ihren spannungsfreien Ausgangszustand zusammenziehen. Dieses »Rückinnerungsvermögen« nutzt man dazu aus, um für zahlreiche Güter fest anliegende und attraktive Verpackungen herzustellen.

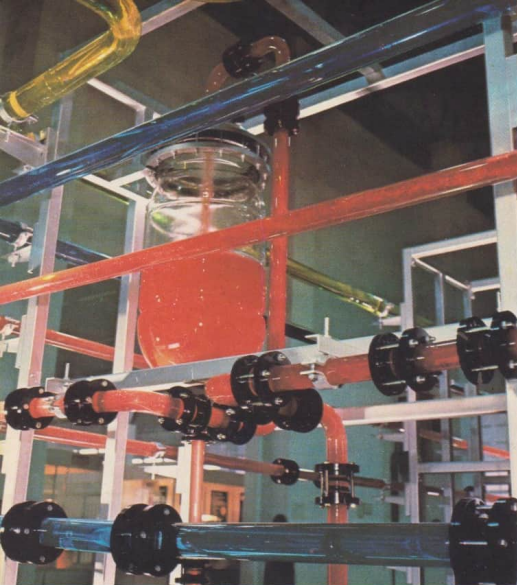


Versuchsanlage zur Herstellung von Synthesefasern im Institut für Polymerenforschung in Teltow-Seehof.

Seite 185

Die Vielfalt der synthetischen Textilfarbstoffe ist beeindruckend.





Immer größere und kompliziertere Chemieanlagen werden aus Glas gebaut, denn technisches Glas hat viele Vorteile: Chemische Resistenz, katalytische Indifferenz, physiologische Unbedenklichkeit, Temperaturbeständigkeit, Dichtigkeit, Durchsichtigkeit. Im Bild eine Apparatur für Demonstrationszwecke.



Düngemittelfabrik im Erdölverarbeitungswerk Schwedt.

Agrochemikalien werden nicht nur auf Felder gestreut. Mit modernen Sprühbläsern spritzt man Obstkulturen gegen Schorfbildung und Schädlingsbefall.

Die kontinuierliche Verlegung von Plasterrohren anstelle von Tonrohren für Zwecke der Bodenmelioration ist mit Arbeitsgeschwindigkeiten um 5 km pro Schicht äußerst effektiv.





Arzneimittelforschungslabor im VEB Arzneimittelwerke Dresden. Hier werden Herzpräparate getestet.

Jedes neu entwickelte Arzneimittel muß zunächst im Tierversuch auf eventuelle Schädwirkungen überprüft werden.

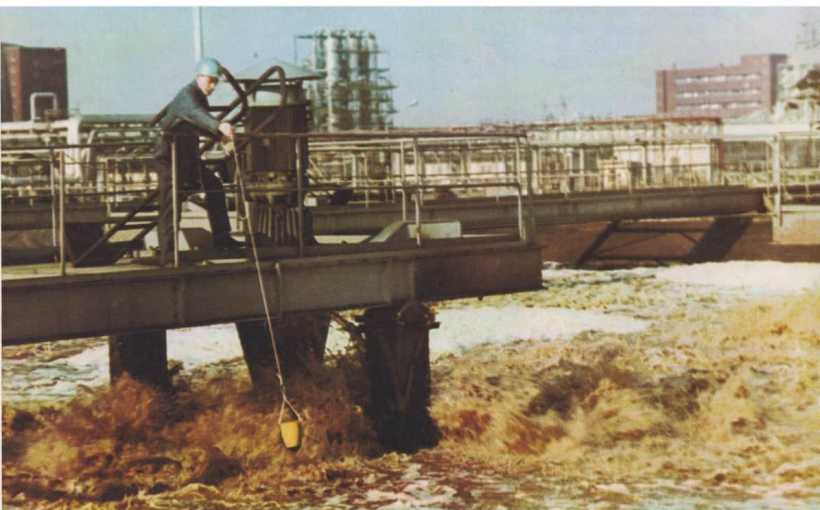


Nicht nur Arzneimittel, sondern auch Gesundheitspflgemittel unterliegen in der DDR einer strengen Kontrolle. In diesem Labor werden dünn-schicht-chromatographische Analysen durchgeführt.



Diagnostik des akuten Herzinfarktes mit Hilfe chemischer Analysen des Blutserums.





Abwässer aus den Chemiebetrieben sind alles andere als eine erfreuliche Angelegenheit. Ihre ständige Überwachung und Aufbereitung gehört zu den wichtigsten Aufgaben des Umweltschutzes. Hier wird eine Probe aus dem Belebungsbecken der Abwasseranlage des Chemiefaserkombinates in Premnitz entnommen.

Für unsere Chemiker von morgen ist die beste Ausbildung gerade gut genug. Einrichtungen der Betriebsschule in Leuna.

metallverarbeitende Industrie. Man schätzt aber ein, daß der Stahl bisher nicht mehr als etwa 5 bis 10% an Plaste (besonders bei Rohren) sowie Beton und andere Materialien abgegeben hat. Diese Relationen werden sich bis zum Jahre 2000 zwar noch etwas zugunsten der Eisenwerkstoffe verschieben, aber mit einer Stagnation im Stahlverbrauch ist deshalb nicht zu rechnen. Das außerordentlich günstige Festigkeits-Preis-Verhältnis sowie die bemerkenswerte Variabilität der Eigenschaften, Anwendungen und Verarbeitungsmöglichkeiten des Stahls werden sich nämlich auch in der Zukunft nur äußerst schwer überbieten lassen!

Nichteisenmetalle werden in der DDR schon seit Jahren äußerst sparsam eingesetzt, so daß hier viele Substitutionsmöglichkeiten, die man heute noch international diskutiert, bereits verwirklicht sind. Als Schwerpunkt der Metallsubstitution wird deshalb bei uns der Stahlsektor angesehen. Der Einsatz von einer Tonne Plast im Maschinenbau ersetzt 5 bis 6 t der hier verwendeten metallischen Werkstoffe, und man benötigt nur noch 12 bis 33% der Arbeitszeit, die für die Herstellung vergleichbarer Gegenstände aus Metallen aufgewendet werden muß. Bei der Anwendung von Konstruktionsplasten für Verschleißteile wie Spindeln, Zahnräder usw. werden acht bis zehn Produktionsstufen eingespart, und die Arbeitsproduktivität erhöht sich auf 300 bis 1000%. Die Materialausnutzung bei Metallen geht kaum über 70%, beim Einsatz von Plasten können dagegen 90 bis 95% erreicht werden!

Die Substitution eines weiteren klassischen Massenwerkstoffs, nämlich des Holzes, begann in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts zunächst mit der Zurückdrängung von Schnittware durch Sperrholz sowie später durch Faser- und Spanplatten. In den letzten Jahrzehnten kam es aber auch zu einer deutlichen Verdrängung des Holzes durch Aluminium und Kunststoffe. Als Beispiele mögen hier nur Spielzeug, Fässer, Haushaltartikel,

Boote und in vorläufig noch geringem Ausmaß auch Rüstungen und Schalungen für das Bauwesen genannt werden. Die Substitution von Holzprodukten (insbesondere durch geschäumtes Polystyrol und Polyurethan) bringt zwar nur eine mäßige Werkstoffeinsparung, in vielen Fällen jedoch einen höheren Gebrauchswert und fast immer eine günstigere Produktivität bei der Fertigung. Der Preisvergleich bei unkomplizierten Halbzeugen (wie Leisten, Profilen, Platten) spricht aber nach wie vor klar für den Einsatz von Holz. Dagegen werden die höheren Plastpreise bei weitgehend veredelten Finalerzeugnissen (z. B. im Bootsbau) durch die Einsparung an Arbeitszeit ausgeglichen. Trotzdem vertreten Fachleute der USA die Auffassung, daß mit steigendem Lebensstandard der Verbrauch vor allem an veredelten Holzprodukten zunehmen wird, und zwar unabhängig davon, ob es sich um ein holzerzeugendes Land handelt oder nicht. Demgegenüber meinen englische Wissenschaftler, daß im Verlauf der nächsten 50 Jahre alle nichtästhetischen Holzverwendungen in den Industrieländern durch Kunststoffe und Derivate der Aluminium-Eisen-Silizium-Kalzium-Mineraler ersetzt werden.

In der Zukunft wird man übrigens auch Plaste substituieren. Dies betrifft zunächst den Austausch verschiedener Plastsorten untereinander, besonders aber ihre Substitution durch die stark in der Entwicklung begriffenen Verbundwerkstoffe.

Neben die Plaste werden bis zur Jahrtausendwende als Werkstoffsubstituenten vor allem die Silikate Glas, Keramik, Emaille und Beton treten. Die Voraussage einiger amerikanischer Wissenschaftler dagegen, wonach im Jahre 2000 die Werkstoffe Stahl, Beton, Holz und Aluminium als Hauptmaterialien für Brücken, Gebäude, Flugzeuge, Autos, Schiffe und Wohnungsausstattungen im breiten Umfang von den Plasten abgelöst sein werden, wollen wir gelassen als das nehmen, was sie in Wirklichkeit auch ist, nämlich als eine schlichte Übertreibung.

Mit der Chemie gegen den Hunger

Die Erde wird fruchtbarer

Die landwirtschaftliche Produktion hat sich in den letzten 100 Jahren außerordentlich rasch entwickelt. Das wird besonders deutlich am Beispiel der Nahrungsmittelversorgung früher und heute. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts konnte in Deutschland die Ernährung für 90 Einwohner pro km² zu 75 % durch die eigene Landwirtschaft gesichert werden. Heute liegt die Bevölkerungsdichte in der BRD bei 242 und in der DDR bei 156 Einwohnern pro km², und der Nahrungsmittelkonsum ist ungleich höher. Trotzdem kann der Bedarf sowohl in der BRD als auch in der DDR zu über 80 % aus eigenen Quellen gedeckt werden. Eine landwirtschaftliche Arbeitskraft ernährte 1965 in der DDR 18, im Jahre 1975 aber schon 32 Personen!

Die wesentlichen Ursachen dieser auch in anderen entwickelten Ländern sichtbaren Leistungen lassen sich in aller Kürze mit drei Schlagwörtern charakterisieren: Chemisierung, Technisierung und Züchtung. Es ist müßig, sich über den Anteil dieser drei Faktoren am Gesamtergebnis streiten zu wollen, denn die moderne Landwirtschaft entwickelt sich in schnellem Tempo zu einem Fachgebiet, in dem die Erkenntnisse von Chemie, Biologie und Technik zu einer völlig neuen Qualität vereinigt werden. Trotzdem ist gerade der Beitrag der Chemie besonders augenfällig, und nicht zuletzt deshalb soll auch mehr als die Hälfte des in der DDR bis 1980 gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 1971 bis 1975

geplanten Ertragszuwachses von rund 20 % durch eine verstärkte Chemisierung erreicht werden.

Seit Justus von Liebig (1840) ist bekannt, daß jede Pflanze zu ihrem Gedeihen eine gewisse Menge Stickstoff, Phosphor, Kalium und Kalzium in gelöster Form benötigt. Diese Hauptelemente sind durch keine anderen Grundstoffe ersetzbar, und sie können sich auch nicht gegenseitig vertreten. Die praktische Umsetzung dieser Erkenntnisse im größeren Stil begann etwa 30 Jahre nach Liebig's Tod, denn erst jetzt (um 1900) erreichte die chemische Industrie einen Stand, der eine Düngemittelgroßproduktion ermöglichte.

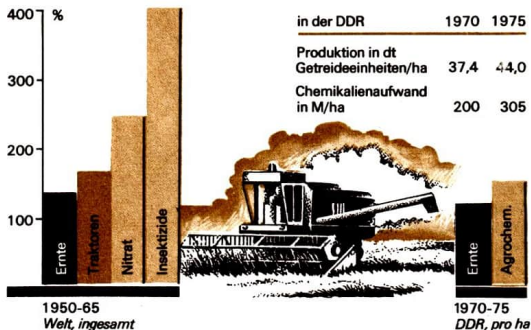
Einen verhältnismäßig schnellen Aufschwung nahm die Erzeugung von Kali- und Phosphordünger. Heute (1975) beträgt die K₂O-Weltproduktion etwa 24 Mill. t, im Jahre 2000 erwartet man 50 bis 60 Mill. t. Die DDR steuert zum Gesamtaufkommen der Menschheit gegenwärtig etwas über 3 Mill. t (1980 knapp 4 Mill. t) bei. Damit nimmt sie den dritten Platz in der Weltrangliste ein. Unsere Felder werden jährlich mit 100 kg K₂O pro Hektar versorgt. Etwa zwei Drittel der Produktion gehen in den Export.

Phosphor kommt zwar fast überall vor (ein Hektar gewöhnlicher Ackerboden von 40 cm Tiefe enthält durchschnittlich 20 t P₂O₅, womit man 500 bis 600 Jahre lang 20 dt Weizen erzeugen könnte!), aber der Nährstoff wird leider viel zu langsam nachgeliefert. Deshalb müssen zahlreiche Böden gedüngt werden. In der Erzeugung der dazu erforderlichen Phos-

Tabelle 12. Agrochemie in der Kartoffelproduktion

0	SAATKARTOFFELN
1	Beizung
2	Mineraldüngung vor bzw. nach dem Ausbringen der Kartoffeln in den Boden
3	chem. Unkrautbekämpfung
4	chem. Insektenbekämpfung
5	chem. Selektion
6	chem. Bekämpfung der Pilzkrankheiten
7	chem. Krautabtötung
8	Desinfektion der geernteten Knollen
9	Desinfektion der Lagerhäuser
10	chem. Keimhemmung
11	Verpackung und Konservierung
12	SPEISEKARTOFFELN

Die Bedeutung der Chemie für die Nahrungsmittelproduktion wächst überproportional; der Ernteertrag steigt, aber noch schneller wachsen die Aufwendungen.



phatdüngemittel rangieren die RGW-Länder schon seit 1971 auf dem ersten Platz. Die Zuwachsraten der letzten Jahre lagen mit etwa 13% fast doppelt so hoch wie im Welt-durchschnitt. 1975 betrug die P_2O_5 -Produktion auf unserem Planeten 29,5 Mill. t.

Größere Versorgungsschwierigkeiten gab es zunächst beim Stickstoff, dessen natürliche Salzvorkommen insgesamt unzureichend sind und vor allem auch sehr verstreut liegen. Schon Ende des vorigen Jahrhunderts kam es deshalb in den Gebieten mit intensiv betriebener Landwirtschaft zu einer Stickstoffverarmung der Böden. Da erließ im Jahre 1898 Sir William Crookes in Bristol einen Aufruf an alle Chemiker der Welt, sich an der Suche nach einer praktikablen Methode zur Bindung des Luftstickstoffs zu beteiligen. Seine Worte fanden großes Interesse, und schon zehn Jahre später war der Weg gefunden. Haber und Bosch entwickelten die heute in jedem Lehrbuch der anorganischen Chemie ausführlich behandelte Ammoniaksynthese. Im April 1917 verließ der erste Kesselwagen mit Ammoniak das neu errichtete Leunawerk. Er trug die nicht eben freundliche Aufschrift »Franzosen tod«, und das macht deutlicher als jede umfangreiche Erläuterung, warum das Projekt vom kaiserlichen Deutschland so großzügig gefördert worden war: Luftstickstoff wurde dringend für die Sprengstoff-industrie benötigt!

Bald entstanden überall auf der Welt große

Ammoniakfabriken. Aber glücklicherweise wuchsen im gleichen Maße nicht nur die Produktionsziffern der Munitionshersteller, sondern auch die der Düngemittelfabrikanten. Der Stickstoffhunger des Ackerbaus konnte immer besser gestillt werden, und nun stiegen die Erträge von Jahr zu Jahr. Heute kann man sagen, daß über 400 Mill. Menschen, also rund 10% der Erdbevölkerung, dank der Stickstoffdüngung ernährt werden!

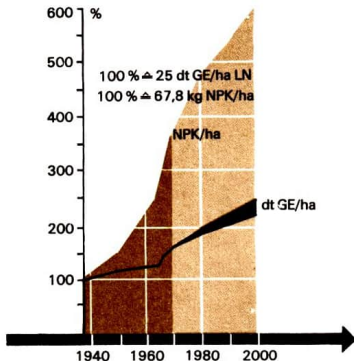
Die Weltproduktion an Düngestickstoff lag 1970 bei etwa 30 und 1975 schon bei über 45 Mill. t. Für das Jahr 2000 wird ein Produktionsvolumen von 90 bis 95 Mill. t Reinstickstoff vorausgesagt.

Die DDR-Landwirtschaft erhielt 1975 etwa 680 kt Stickstoff von der Chemie. Davon wurde der größte Teil in Form von Ammoniak und Harnstoff in Piesteritz erzeugt. Im Jahre 1980 sollen bereits 940 bis 970 kt Stickstoff bereitgestellt werden. Mit jedem Kilogramm Stickstoff aber können pro Hektar nicht weniger als 8 bis 11 kg Getreide oder 90 kg Kartoffeln oder 100 kg Grünfutter mehr geerntet werden. Das Aufwand-Nutzen-Verhältnis beim Einsatz chemischer Düngestoffe wird je nach Kultur auf etwa 1:3 bis 1:10 geschätzt.

Gegenwärtig führen die mit den Landwirten verbundenen Chemiker überall in der Welt einen zähen Kleinkrieg um die Verbesserung der Effektivität des Düngemiteleinsatzes. So bemüht man sich seit etwa zehn Jahren um einen Austausch der nährstoffarmen Dünge-

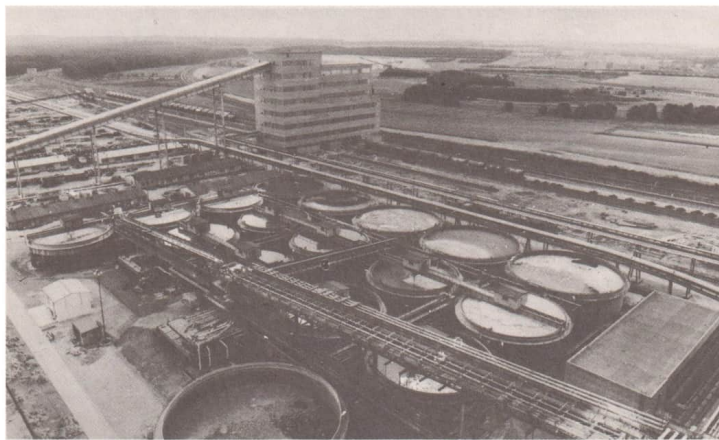
mittelformen (z.B.: Ammoniumsulfat mit 20% N) durch nährstoffreiche Produkte (z. B. Harnstoff mit 46% N). Der Harnstoffanteil am Düngemittelsortiment betrug 1960 im Weltmaßstab 7,5%, 1970 lag er schon bei über 20%. In der DDR waren zu diesem Zeitpunkt erst 5,5% erreicht, während unsere Zielstellungen bei etwa 30% liegen. Das billigste, mechanisierungsfreundlichste und mit 82,4% Stickstoff auch das konzentrierteste Stickstoffdüngemittel ist jedoch wasserfreies Ammoniak. Deshalb wurde in den USA bereits Ende der 60er Jahre über die Hälfte des Stickstoffdüngers in flüssiger Form ausgebracht. Heute orientieren vor allem die DDR, die UdSSR und Großbritannien auf den verstärkten Einsatz flüssiger Düngemittel, denn sie bringen durch den Wegfall der Salzerzeugungsanlagen und den hohen Nährstoffgehalt beträchtliche Rationalisierungseffekte.

Etwa seit der Mitte unseres Jahrhunderts rücken auch die sogenannten Mikronährstoffe (namentlich Bor, Kupfer, Mangan, Molybdän, Zink) stärker in den Blickpunkt der Agrochemiker. Obwohl der Bedarf nur bei einigen 100g pro Hektar liegt, kann ihr Fehlen zu wesentlichen Ertrags- und Qualitätsverlusten führen. In der DDR schätzt man gegenwärtig



Entwicklung von Düngemittelaufwand und Ernteertrag je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche in der DDR (GE = Getreideeinheit, NPK = Stickstoff, Phosphor, Kalium)

Das Kaliwerk Zielitz ist die größte und modernste Anlage dieser Art in Europa. Es entstand in gemeinsamer Arbeit von Spezialisten aus der DDR, der UdSSR, der VR Polen und der ČSSR.

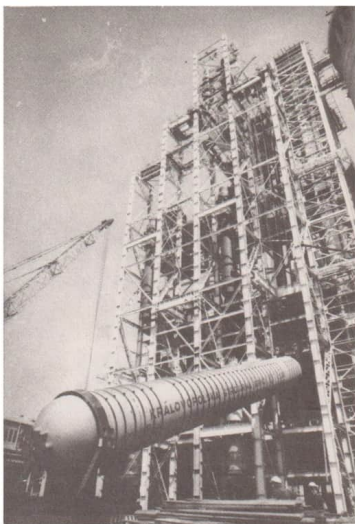


etwa 500 000 ha als versorgungswürdig ein, von denen ungefähr 300 000 ha schon gedüngt werden. Dadurch resultiert bei Unterstellung einer mittleren Ertragszunahme ein jährlicher Nutzen von über 20 Mill. M. Es ist jedoch anzunehmen, daß die mikronährstoffbedürftigen Ländereien ebenso wie die tatsächlich versorgten Flächen mit fortschreitender Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion in den folgenden Jahren noch zunehmen werden.

Eine besonders wichtige Rolle in den Forschungskonzeptionen der Agrochemiker spielt die Entwicklung hochprozentiger Komplex- und Mischdünger, die in einer einzigen Gabe alle Haupt- und Spurenelemente in der für die Pflanze optimalen Zusammensetzung enthalten. Etwa seit 1970 befinden sich derartige Präparate (meist auf der Basis von Ammoniumphosphat mit 92 bis 98 % Nährstoffanteil) in der Produktion. Noch aber ist der durchschnittliche Nährstoffgehalt der handelsüblichen Düngemittel überall viel niedriger. In der UdSSR betrug er 1975 beispielsweise erst 36 %. Bis 1980 soll er auf 40 % erhöht werden.

Schließlich entwickelt man in verstärktem Maße auch langsam wirkende Düngemittel. Da man sie weniger oft ausbringen muß, ist ihre Anwendung sehr arbeitssparend.

Einen großen Fortschritt brachte die Erkenntnis, daß ein Teil des möglichen Ertragszuwachses verschenkt wird, wenn man lediglich nach Faustzahlen düngt. In der DDR wurde deshalb ein ökonomisch-mathematisches Modell erarbeitet, das vom Nährstoffzustand des Bodens ausgeht, der regelmäßig untersucht wird. Das System berücksichtigt die Bodenart, die Fruchtfolge und andere Faktoren. Auf der Grundlage dieser Daten berechnet eine EDV-Anlage, wann dem Boden welche Nährstoffe zugeführt werden müssen und welche Düngemittelmengen im Verhältnis zum geplanten Ertrag noch wirtschaftlich gerechtfertigt sind. Darin ist auch die Mikronährstoffversorgung mit einbezogen. Die Ergebnisse gehen als konkrete Düngungsempfehlungen an die landwirtschaftlichen Betriebe und Agrochemischen Zentren (ACZ). Dort verwendet man sie als wissenschaftliche Entscheidungshilfen zur rationellen, schlagbezogenen Düngung.



Die Aufstellung großer Harnstoffreaktoren erfordert den Einsatz modernster Technik.

Die ACZ der DDR sind gemeinsame Einrichtungen von landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften, volkseigenen Gütern und bäuerlichen Handelsgenossenschaften. Sie übernehmen jeweils für eine größere Anzahl von Landwirtschaftsbetrieben Umschlag, Lagerung, Transport und Ausbringung von Mineraldüngern sowie Pflanzenschutzmitteln. Dadurch steigt die Arbeitsproduktivität, und die Chemikalienverluste können gesenkt werden. Der Einsatz von Streuflugzeugen und anderen modernen Aggregaten wird überhaupt erst unter diesen Bedingungen rentabel. Das agrochemische Dienstleistungsnetz der DDR bestand 1976 aus 216 ACZ und über 100 agrochemischen Brigaden der VdGB. Ihre Bedeutung wächst ständig, denn nicht weniger als ein Drittel aller in unseren Landwirtschaftsbetrieben eingesetzten Produktionsmittel sind heute chemische Erzeugnisse,



Agrochemische Zentren (hier das Ammoniaktanklager im ACZ Vieselbach) gehören zu den jüngsten Kindern aus der »Ehe« zwischen Chemieindustrie und Landwirtschaft.

die 13% der Produktionskapazität unserer gesamten Chemieindustrie beanspruchen.

In allen fortgeschrittenen Ländern nimmt der Einsatz künstlicher Düngemittel auch über den klassischen Feldbau hinaus immer breitere Formen an. Die intensive Anwendung von Kunstdünger in großen Treibhausfarmen ermöglicht eine hohe Frischgemüseproduktion, und auch in der Forstwirtschaft und im Fischereiwesen ist sie rasch im Wachsen begriffen.

Ganz erstaunliche Resultate hat in den letzten Jahren die Aufzucht von Pflanzen bei Ausschaltung der natürlichen Umweltbedingungen gebracht. Die Verabreichung flüssiger, optimal zusammengesetzter Nährstoffkonzentrate (Hydroponik) bei automatisch geregelter Temperatur und raffiniert gestalte-

ter Lichtdosierung ermöglichte in Leningrader Laboratorien nicht weniger als sechs Tomatenernten im Jahr. In den nächsten Jahren werden Ernten von 400 kg pro m² angestrebt. Selbstverständlich kann man auch Futtergras »chemisch« produzieren. Alle sieben Tage wird in solchen Grasfabriken ein dichtes Gewirr von Halmen und Wurzeln geerntet. In einem größeren Raum sollen auf diese Weise jeden Tag 7 t Assimilatmasse produziert werden können. Der Höhepunkt dieser Technologie besteht darin, daß Licht, Temperatur und Nährstoffzufuhr in der Zukunft von den Pflanzen selbst geregelt werden. An den Pflanzen angebrachte Sensoren liefern die erforderlichen Impulse, die über Automaten den ganzen Betrieb steuern sollen. Die optimistischen Prognosen mancher Enthusiasten, wonach in absehbarer Zukunft mit dem Aufbau vollautomatischer Agrarfabriken zu rechnen ist, erscheinen deshalb zumindest für hochwertiges Gemüse gar nicht mehr so unreal.

Besonders in den kapitalistischen Ländern werden gelegentlich Stimmen laut, die mit dem Hinweis auf eine gesundheitsgefährdende Qualitätsminderung der pflanzlichen Produkte eine Reduzierung des Düngemittelsatzes verlangen. Bisher sind jedoch für solche negativen Wirkungen noch keine Beweise erbracht worden. Im Gegenteil, eine optimale Mineraldüngung ist nicht nur notwendige Voraussetzung zur Beherrschung der Ernährungsprobleme auf unserem Planeten, sondern darüber hinaus auch Grundlage für eine hohe Qualität der pflanzlichen Produkte.

Problematischer erscheint dagegen die Gefahr einer unerwünschten Nährstoffanreicherung in den Gewässern, die durch das Auswaschen überschüssiger Düngemittelmengen aus dem Boden entsteht. Fachleute schätzen ein, daß in den Industrieländern die

Plastefolien sind unentbehrlich für die moderne Landwirtschaft.

Chemisierung der Landwirtschaft gegenwärtig mit über 50 % an diesem Phänomen beteiligt ist. Durch Anwendung geeigneter Düngestoffe in Verbindung mit einer wissenschaftlich optimierten Ausbringung hofft man jedoch, diese Gefahr in vertretbaren Grenzen halten zu können.

Heute schon lebt rund ein Drittel der Erdbevölkerung von den Mehrerträgen, die durch den Düngereinsatz erzielt werden. Aber die Verteilung der Düngemittelproduktion auf die Länder der Welt ist wegen des unterschiedlichen Industrialisierungsgrades äußerst ungleichmäßig. Die DDR nimmt in der Prokopfproduktion an Mineraldüngemitteln den ersten Platz in der Welt ein.

Es gibt heute bereits eine ganze Reihe von Ländern (darunter die DDR, BRD, Japan, Taiwan), die je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche mehr als 100 kg Stickstoff verbrauchen. Andererseits haben noch ganze Erdteile (insbesondere Afrika, aber auch Südamerika) einen Versorgungsgrad von wenigen Kilogramm pro Hektar. 80 bis 90 % allen Mi-



neraldüngers werden in Europa, Japan und Nordamerika verbraucht. Zwei Drittel der Menschheit verfügen nur über 10 bis 20% der Gesamtterzeugung. Mitte der 70er Jahre gab es in ganz Afrika noch keine einzige Ammoniakfabrik! Trotz aller Dinglichkeit ist danach klar, daß sich die Mineraldüngerproduktion in den wenig industrialisierten Gebieten vorerst nur langsam entwickeln wird.

Die Chemie hilft dem Pflanzenbau nicht bloß mit hochwertigen Düngestoffen, sondern auch mit vielen anderen Produkten. Dazu gehören chemische Bodenverbesserungsmittel, z. B. in Gestalt von Plastehartschaumflocken und Bitumenemulsionen, vor allem aber Agrochemikalien zur Wachstumsbeeinflussung von Kulturpflanzen. Mit derartigen Chemikalien können erstaunliche Effekte erzielt werden. So lassen sich Wachstum, Blüte

und Fruchtreife verzögern oder beschleunigen; der Fruchtansatz läßt sich vermindern oder verstärken, Zuckergehalt und Eiweißanteil im Erntegut können erhöht werden, Froststabilität und Ertrag lassen sich verbessern. Am bekanntesten sind bisher die sogenannten »Halmstabilisatoren« geworden. Sie bewirken, daß die Halme von Weizen (mit Chlorcolinchlorid) und neuerdings von Winterroggen (mit β -Chloräthanphosphonsäure im Camposan) kürzer, dicker und damit auch stabiler wachsen, so daß sie nicht mehr von Regengüssen niedergeschlagen werden können. Dadurch werden 3 bis 5 dt Roggen je Hektar mehr geerntet. Für die Zukunft darf man erwarten, daß sich die chemischen Wachstumsregulatoren zu einem festen Bestandteil industriemäßig betriebener Landwirtschaft entwickeln werden.

Das Endziel aller dieser Bemühungen ist eine kontinuierliche Erhöhung der landwirtschaftlichen Primärproduktion, denn heute kann die Weltbevölkerung noch keineswegs ausreichend ernährt werden! Jedes Jahr sterben nach UNO-Angaben 10 Mill. Men-

Der neue Halmstabilisator Camposan bewirkt beim Winterroggen eine Halmverstärkung und -verkürzung. Im Durchschnitt werden Mehrerträge von 3–5 dt pro Jahr und Hektar erreicht.



schen an Hunger. Dazu kommen etwa 2 Mrd. Menschen, deren Versorgung sich ständig unter dem Minimum bewegt. Angesichts dieser Situation, der wir uns bei einer Bevölkerungsziffer von »nur« 4 Mrd. Menschen gegenübersehen, scheint das Nahrungsproblem für 6,5 Mrd. Erdenbürger im Jahre 2000 fast unlösbar.

Aber dieser Eindruck täuscht zumindest im Hinblick auf die wissenschaftlich-technischen Möglichkeiten. Gegenüber den potentiellen Maximalerträgen bei Weizen, Mais und Zuckerrübe werden nämlich im Weltdurchschnitt zur Zeit kaum 17% erreicht. Eine Erhöhung des Stickstoffdüngemittelverbrauchs in den schwach entwickelten Ländern von 4 Mill. t auf 60–80 Mill. t bei einer Gesamtproduktion von 150–200 Mill. t könnte den Welternteertrag um das 3- bis 6fache steigern helfen. Damit wäre es möglich, die Menschen im Jahre 2000 ausreichend zu versorgen. Ein solches Produktionsniveau wird aber bis dahin kaum zu erreichen sein, weil dafür die wirtschaftlichen und politischen Voraussetzungen fehlen. Die Herrschaft des Kapitals erweist sich für die weltweite Entwicklung der Nahrungsmittelproduktion als ein echtes Hindernis, weil in den fortgeschrittenen Ländern bei einem Anstieg der Produktivität die Nahrungsmittelerzeugung durch Reduzierung der Anbauflächen künstlich gedrosselt wird und in den unterentwickelten Ländern die zwangsweise Aufrechterhaltung halbkolonialer Ausbeutungsverhältnisse eine rasche Entwicklung der Produktion überhaupt verhindert. Eine Lösung der gesellschaftspolitischen Probleme ist deshalb letztlich unabdingbar, wenn der Hunger von der Erde verbannt werden soll.

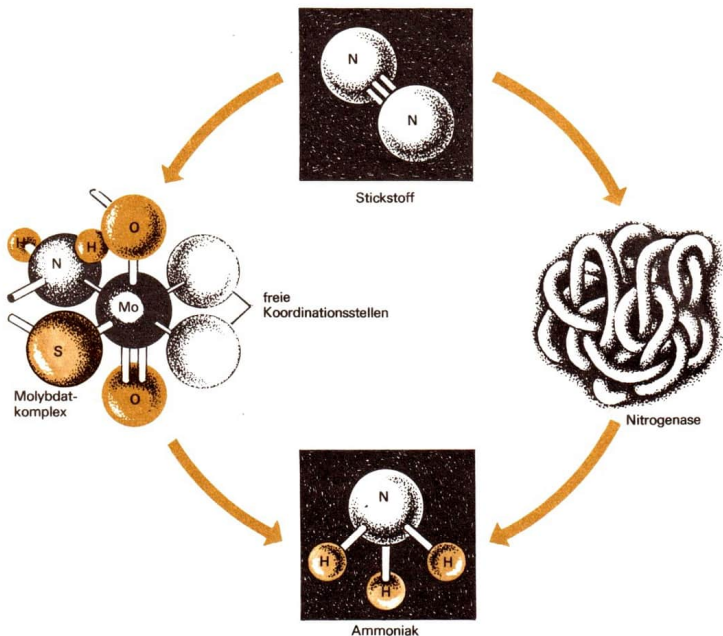
Schlüssel zum Luftstickstoff

Den erfolgreichen Bemühungen der Chemiker ist es zu verdanken, daß das Element Stickstoff heute so etwas wie ein Motor nicht nur für das Pflanzenwachstum, sondern auch für die Tierproduktion geworden ist. Deshalb werden die größten Stickstoffmengen auch in der Zukunft mit Sicherheit von der Landwirtschaft verbraucht. Darüber hinaus wächst laufend auch der Bedarf an anderen stickstoffhaltigen Ver-

bindungen, deren vielfältige Palette von den Sprengstoffen bis zu den Plasten reicht.

Schlüsselprodukt für alle diese Stoffe ist das Ammoniak. Beim Haber-Bosch-Verfahren gelingt die Synthese durch Umsetzung des Luftstickstoffs mit Wasserstoff bei 500 °C und 300 bar in Gegenwart von mit Alkalimetall »verunreinigten« Eisenkatalysatoren. Obwohl das Verfahrensprinzip heute wie vor 60 Jahren dasselbe ist, stieg die Produktivität in dieser Zeit auf das 25fache. Der Prozeß erfordert jedoch viel Energie und eine komplizierte BMSR-Technik sowie überhaupt einen hohen anlagentechnischen Aufwand. Trotzdem ist das Haber-Bosch-Verfahren mit Abstand die bedeutendste Synthese der chemischen Großindustrie überhaupt, denn immerhin werden damit jedes Jahr mehr als 60 Mill. t Ammoniak hergestellt (das sind ungefähr 94% der Weltproduktion an gebundenem Stickstoff). Einen raschen Produktionszuwachs verzeichnen besonders die RGW-Staaten, daneben aber auch Venezuela, Indien und einige andere Länder. Großanlagen mit einer Tagesleistung von 1000 bis 1300 t NH_3 zählen heute zu den Standardgrößen, und bald schon will man Objekte mit mehr als der doppelten Kapazität in Betrieb nehmen. 1966/67 gab es im Weltmaßstab neun derartige Anlagen, auf die 8,5% der gesamten Produktion entfielen. 1972/73 waren es bereits 60 Großobjekte mit 30% der Weltkapazität. Dieser stark ausgeprägte Entwicklungstrend erlaubt die Voraussage, daß die Haber-Bosch-Synthese auch in den nächsten 25 Jahren ihre Position als tragendes Element der internationalen Chemiewirtschaft behaupten wird. Trotzdem ist und bleibt es eine wichtige Forschungsaufgabe, auch neue Wege der Ammoniaksynthese aufzufinden.

Bei den bisherigen Arbeiten wurde die Entdeckung gemacht, daß bestimmte Komplexverbindungen fähig sind, molekularen Stickstoff anzulagern, und daß dieser Stickstoff unter geeigneten Bedingungen drucklos zu Ammoniak reduziert werden kann. Ausgangspunkt dieser Forschungen war die Tatsache, daß die an den Wurzeln von Hülsenfrüchten lebenden Knöllchenbakterien den Luftstickstoff zu binden vermögen. Es zeigte sich, daß dafür ein Molybdän und Eisen enthaltender Enzymkomplex, die sogenannte



Gelingt die Stickstoffbindung nach dem Knöllchenbakterienprinzip?

Nitrogenase, verantwortlich ist. Auf der Suche nach Katalysatoren mit einer gleichartigen Wirkung wurden metallorganische Verbindungen mit verschiedenen Nebengruppenelementen (Eisen, Vanadin, Chrom, Wolfram u.a.) hergestellt, die die Bindung des N_2 -Moleküls aktivieren. Dabei entsteht aus metallorganischen Substanzen und N_2 zunächst ein Komplex, in dem die Stickstoffbindungen so stark gelockert sind, daß andere Elemente, z.B. Wasserstoff, gebunden werden können. Bei der Spaltung wird Ammoniak freigesetzt. Die Ausbeuten sind

allerdings noch sehr klein. Aber auch aus technischen Gründen ist es vorläufig noch offen, ob die Nachahmung der biologischen Stickstofffixierung das Haber-Bosch-Verfahren einmal ablösen können. Deshalb werden auch andere Möglichkeiten untersucht.

So befaßt man sich wieder stärker mit dem altbekannten Prinzip der Luftverbrennung, zumal sich das Reaktionsprodukt (NO) durch Einwirkung von Sauerstoff und Wasser sehr leicht in Salpetersäure überführen läßt. Ende der 60er Jahre wurde in der UdSSR ein »energochemisches« Verbrennungsverfahren entwickelt, bei dem Erdgas verbrannt und dabei gleichzeitig Luftstickstoff zu 1 bis 2% NO oxydiert wird. Mit der über Wärmeaustauscher gewonnenen thermischen

Energie erzeugt man in einer Dampf- und in einer Gasturbine Elektroenergie.

Aussichtsreich erscheint auch die Verarbeitung der Stickoxide (zirka 1,5%) aus den Gasen, die die Generatoren zukünftiger Kraftwerke verlassen werden, in denen man Wärmeenergie mittels des magneto-hydrodynamischen Prinzips ohne jeden Umweg direkt in Elektroenergie umwandeln will. Günstige Perspektiven hat ferner ein plasmachemisches Verfahren, mit dem sich bis zu 3% Stickstoff fixieren lassen. Auch unter der Wirkung von Gammastrahlen, z. B. in einem Kernreaktor, bilden sich Stickoxide. Solcherart gebundener Stickstoff soll heute nur noch 10% teurer als Haber-Bosch-Stickstoff sein. Aber leider hat die Sache einen Haken. Bei der Bestrahlung bilden sich nämlich auch radioaktive Atomarten, und deren Abtrennung ist vorläufig noch problematisch! Man darf also gespannt sein, ob eine dieser Technologien in den nächsten 25 Jahren bis zur großtechnischen Reife gebracht werden kann.

Wohl niemand wird bestreiten, daß die von der Chemie bereitgestellten Düngemittel der landwirtschaftlichen Produktion zu großen Fortschritten verholfen haben. Trotzdem gilt auch heute noch der bedenkliche Satz:

Wir essen nur, was uns die Schädlinge übriglassen!

Diese Behauptung ist keineswegs bloß aus der Luft gegriffen, und wer da glaubt, die Menschen könnten ernten, was sie säen, der unterliegt einem großen Irrtum. Solange der Mensch Kulturpflanzen anbaut, schlägt er sich mit Armeen von Lebewesen aus allen Ecken des Tier- und Pflanzenreichs herum, die entweder die Entwicklung seiner Zöglinge behindern oder sie auch ganz auffressen wollen. In dieser nun schon seit den Urzeiten der Ackerkultur andauernden Auseinandersetzung hat der Mensch große Verluste hinnehmen müssen. Auch heute noch sind die Heerscharen der pflanzlichen und tierischen Schädlinge stark genug, um uns nicht weniger als ein Drittel der potentiellen Welternte abzufordern. Das entspricht einem Schaden von 280 bis 300 Mrd. Mark pro Jahr. Der Verlust an Brotgetreide und Reis beträgt etwa 33 Mill. t,

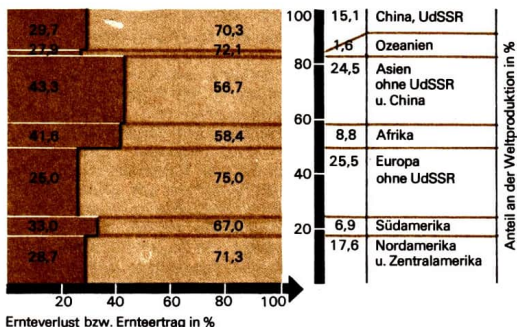
womit man 150 Mill. Menschen ernähren könnte! Dazu kommen noch jährlich mehrere Milliarden Mark Bekämpfungskosten und — was nicht gering zu schätzen ist — die überhaupt nicht klar in Zahlen faßbare Wertminderung eines großen Teils des Erntegutes durch Ausscheidungen der Schädlinge, Geschmacksbeeinträchtigungen, Verfärbungen und andere mißliche Nebenwirkungen.

In der DDR beträgt der Ertragsverlust 20% der potentiellen Ernte. Daran sind Krankheiten mit 10%, Schädlinge mit 6% und Unkräuter mit 4% beteiligt. Die durchschnittlichen jährlichen Kulturpflanzenverluste und Wertminderungen erreichen die beachtliche Höhe von etwa 1,5 Mrd. Mark! Eine Verminderung der Getreideverluste um nur 2 bis 3% allein in der kleinen DDR würde einen jährlichen Gewinn von 70 Mill. Broten bedeuten!

Wahrhaftig, ein merkwürdiger Zustand ist das: Die Menschen bändigen die Riesenkräfte des Atoms, mit raffinierten Maschinen überwinden sie Raum und Zeit — aber sie sind, obwohl viele von ihnen hungern, mit ihrer Nahrung tributpflichtig. Der Gegner, der dies erzwingen kann, muß stark sein. Verschaffen wir uns einen kurzen Überblick.

Da sind zunächst die vielgestaltigen Formen der Unkräuter. Im Vergleich zu den Nutzpflanzen sind sie von einer überlegenen Vitalität, so daß sie im Kampf um Raum und Nährstoffe ohne die Intervention des Menschen bald die Oberhand gewinnen würden. Wollten aber die Menschen alle Unkräuter auf ihren Feldern mit der Hand beseitigen, so ständen sie auf verlorenem Posten. Die Chemiker halfen zur rechten Zeit. »Chemisches Jäten« mit Herbiziden erhöhte die Arbeitsproduktivität gegenüber der Handarbeit um 500 bis 1000%!

Viel Schaden richten die unsichtbaren Heerscharen pflanzenfressender Viren und Bakterien an, die mit einigen 100 Arten immer und überall in Myriaden von Individuen am Werk sind. Zu den von ihnen hervorgerufenen Verfärbungen, Blattkräuselungen und Pflanzenmißbildungen aller Art kommen noch rund 3000 Pilzkrankheiten. Aber nicht genug damit, auch viele Tiere sind Pflanzenfresser, und leider sind es nicht nur solche Arten, die wir schlachten und verspeisen können. Nematoden, Insekten und kleine Nagetiere haben sich besonders unbeliebt gemacht. Bedauerlicher-



Prozentuale Verteilung der Ernteverluste und der tatsächlichen Ernteerträge im Verhältnis zum potentiellen Ertrag (100%) sowie Anteil verschiedener Regionen der Erde an der Welt-ernte.

weise ist ihre Zahl so ungeheuer groß, daß auch den fanatischsten Tierfreund ein leises Gruseln befallen muß. Allein von den fast 1 Mill. Insektenarten sind die meisten pflanzenfressend, und ihre Gesamtheit wird wohl kaum mit einer 30stelligen Zahl zu beschreiben sein. In Zukunft dürften alle diese ungebetenen Gäste noch viel lauter an unsere Türen klopfen, denn die zunehmende chemische Düngung und die Spezialisierung der pflanzlichen Produktion auf sehr großen Flächen wird die weitere Vermehrung bestimmter Schaderreger sehr begünstigen.

Nach Schätzungen von Fachleuten hätte schon heute etwa ein Drittel der Menschheit nichts mehr zu essen, und statt 60% aller Menschen müßten 90% hungern, wenn uns nicht die Chemie zur Verteidigung der mühsam produzierten Nahrungsmittel wirksame Waffen in Gestalt von geeigneten Chemikalien, sogenannter Biozide oder Pestizide, in die Hand geben würde. Die Industrieländer verbrauchen über 70% aller Pflanzenschutzmittel, von denen etwa die Hälfte Herbizide sind. Hier ist die Schlacht durch den differenzierten und dabei zugleich massierten Einsatz von über 450 wirksamen chemischen Verbindungen, auf deren Grundlage Tausende von Präparaten im Handel sind, bereits zugunsten des Menschen entschieden. Dagegen gibt es auch heute noch Gebiete auf unserer Erde, in denen die Bekämpfungsfaktionen noch immer nur mit Zaubersprüchen und geschwungenen Dresch-

felgen geführt werden. Aber die durch den Freiheitskampf der unterdrückten Völker und den stark wachsenden Einfluß der sozialistischen Länder vielerorts erzwungene Liquidierung der kolonialen Ausbeutung eröffnet die Möglichkeit, den Pestizideinsatz in den wenig entwickelten Territorien von 165 Mill. Rubel 1962 auf voraussichtlich mehr als das Zehnfache im Jahre 1985 zu steigern.

Im Weltmaßstab hat sich der Umsatz an Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln (PSM) zwischen 1955 und 1970 etwa alle fünf Jahre bis auf einen Wert von knapp 2 Mrd. Rubeln verdoppelt. Dies entsprach einem Chemikalieneinsatz von 0,4 Rubeln pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche. Bis 1990 soll die Produktion auf das Achtfache erhöht werden.

Die jährliche Zuwachsrate an neuen Wirkstoffen kann international auf etwa 10% veranschlagt werden, obwohl die Aussichten für die Entwicklung eines verkaufsfähigen Wirkstoffs heute bei nur 1:10000 und für hochselektive Mittel sogar nur bei 1:40000 bis 1:80000 liegen. Entwicklungszeiten von acht bis zehn Jahren und Kosten zwischen 5 und 10 Mill. Dollar werden in den kapitalistischen Industrieländern als normal angesehen. Dafür kann mit einem wirksamen PSM schon innerhalb eines Jahres das 2- bis 10fache des Geldwerts als Nutzen realisiert werden.

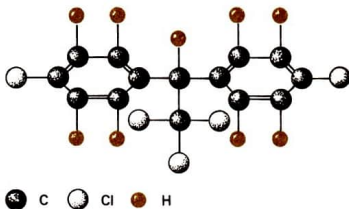
Die PSM-Industrie der DDR hat ihre Produktion 1975 gegenüber 1970 verdreifacht.

Fast die Hälfte wird exportiert. Mehr als 280 anerkannte Erzeugnisse werden als Stäube, Aerosole und Sprühmittel für den Schutz landwirtschaftlicher Kulturen aller Art sowie für den Material- und Vorratsschutz bereitgestellt. Je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche wurden im Jahre 1970 PSM-Präparate im Werte von 27 Mark und 1976 von 50 Mark eingesetzt. Im Jahre 1980 werden es bereits für 70 Mark Chemikalien sein.

Die Neuzeit der chemischen Schädlingsbekämpfung begann im März 1940 mit der Patentanmeldung des DDT (Dichlordiphenyltrichloräthan) durch den Schweizer Chemiker und Nobelpreisträger Paul Müller. Erst seit dieser Zeit kann einer großen Zahl von Schädlingen, gegen die man vorher fast machtlos war, wirksam Paroli geboten werden.

Das DDT ist – wie auch viele andere Chlorkohlenwasserstoffe – ein Kontakt- und Fraßgift. Hohe Toxizität und lange Wirkungsdauer bei gleichzeitig nur geringer Giftwirkung gegen Warmblütler machen es trotz seiner auch die Nützlinge unter den Insekten nicht verschonenden Breitenwirkung zu einem scheinbar unentbehrlichen Helfer des Menschen, zumal der klare Nachweis, daß durch die Speicherung im Fettgewebe von Mensch und Tier Krebs erzeugt wird oder genetische bzw. andere krankhafte Veränderungen hervorgerufen werden, noch immer aussteht. So wurden auf dem Höhepunkt der Antimalariakampagne 400 000 t DDT im Jahre verbraucht. Hunderte von Millionen Menschen kamen mit dem Chemikal in Berührung, aber tödliche Vergiftungsfälle sind nur bei absichtlicher oder irrтümlicher Einnahme bekannt geworden. Statt dessen konnte mit Hilfe des DDT während der letzten 30 Jahre mehr als 1 Mrd. Menschen von der Malaria-gefahr befreit werden. In den bedrohten Gebieten sind über 300 Mill. Erdenbürger von DDT-besprühten Ackerflächen abhängig, und jedes Jahr müßten ohne dieses Chemikal mehr als 1 Mill. Menschen sterben. Außerdem wurden auch Pest, Typhus, Schlafkrankheit, Gelbes Fieber, Leishmaniose, Filariasis und Coloradofieber so gut wie ausgerottet.

Aber nicht aus diesen Gründen sind die in den kapitalistischen Ländern zeitweise mit krassen Überspitzungen geführten DDT-Auseinandersetzungen heute schon beinahe



DDT = Dichlorodiphenyltrichloräthan, $(\text{ClC}_6\text{H}_4)_2 \cdot \text{CH} \cdot \text{CCl}_3$ – bisheriger Spitzenreiter und »Schreckgespenst« unter den Bioziden.

gegenstandslos. Viele Schädlinge (bisher etwa 200) sind nämlich gegen das häufig angewandte DDT inzwischen resistent geworden. Das betrifft nicht nur die Industrieländer, sondern auch einige tropische Gebiete (z.B. Indiens), in denen die Malaria-gefahr wegen aufgetretener Resistenzerscheinungen bei der als Hauptüberträger in Frage kommenden Anophelesmücke in letzter Zeit wieder zugenommen hat. Man muß also sowieso nach neuen Lösungen suchen! Fast alle Industriestaaten haben deshalb Entwicklungsprogramme zur stufenweisen Ablösung des umstrittenen DDT ausgearbeitet, und seit 1963 geht die Weltproduktion laufend zurück. Aber in den Entwicklungsländern kann vorläufig auf das DDT noch nicht verzichtet werden, weil es kein anderes Insektizid gibt, das gleichzeitig gegen so viele Schädlinge wirkt und dabei auch noch billig ist.

In den 32 Jahren zwischen 1942 und 1974 wurden schätzungsweise 2,8 Mill. t DDT verbraucht, davon die Hälfte allein in den USA. Die von der Pflanzen- und Tierwelt aufgenommene Menge von 1 Mill. bis 10 Mill. kg erscheint demgegenüber relativ gering. Wenn die Produktion noch in den 70er Jahren völlig eingestellt werden sollte, könnte unsere Erde im Jahre 2000 wieder DDT-frei sein.

Kaum zwei Jahre nach dem DDT wurde ein zweiter Wirkstoff von überragender Bedeutung für die Schädlingsbekämpfung entdeckt – das allgemein als HCH oder Hexa bekannte Hexachlorzyklohexan. Erfreulicherweise wird es nicht im Körperfett von Säugetieren ge-

speichert. Da es rasch verdampft, wirkt es in erster Linie als Atemgift. Seine Wirkungs-dauer ist deshalb gering.

Als Insektizide, die für Bienen ungefährlich sind, verdienen die Chlorkohlenwasserstoffe Toxaphen und Thiodan Erwähnung.

Phosphorsäureester sind der Öffentlichkeit zunächst nur als wohlfeile Vergiftungsmittel für Lebensmüde in den kapitalistischen »Freiheitsländern« bekannt geworden. Namentlich der zuerst (1944) entdeckte Wirkstoff dieser Gruppe hat unter dem Namen E 605 (Parathion) in westlichen Selbstmörderkreisen eine spektakuläre Karriere gemacht. Schon daraus geht hervor, daß das Präparat für Warmblütler äußerst gefährlich ist. Es ist vergleichsweise 20mal giftiger als Hexa und 40mal giftiger als DDT. Andererseits werden die Phosphorsäureester sehr schnell zersetzt, so daß keine Speicherung eintritt. Sie zeichnen sich demnach durch eine schnelle Anfangs-, aber nur eine geringe Dauerwirkung aus. Heute stehen auch weniger giftige Präparate wie Chlorthion und Malathion zur Verfügung. Interessanterweise gibt es unter den Phosphorsäureestern Präparate (wie Systox und Metasystox), die mit dem Saftstrom in alle Teile der Pflanze transportiert werden. Derartige »systemische Gifte« sind für eine Schädlingsbekämpfung aus dem Inneren der Pflanze heraus geeignet. Alle saugenden Schädlinge, insbesondere Blatt- und Schildläuse sowie die Spinnmilben, werden vergiftet, Blattlausfeinde und andere Insekten einschließlich der Honigbiene bleiben dagegen verschont. Auf Grund ihrer selektiven Wirkungsweise werden die systemischen Phosphorsäureester in der Schädlingsbekämpfung der Zukunft eine wachsende Bedeutung erlangen.

Für den Vorratsschutz wurden zahlreiche Präparate gegen Nagetiere entwickelt. Eine Spezialwaffe sind die für Mensch und Haustier ungefährlichen Kumarinverbindungen, die bei den Nagetieren innere Blutungen verursachen.

Große Fortschritte hat in den letzten Jahren die Entwicklung der Unkrautvertilgungsmittel oder Herbizide gemacht. Die wichtigsten Verbindungen sind systemisch wirkende Pflanzenwachstumsstoffe. Verabreicht man sie in geringen Dosen, so wird das Wachstum der Pflanzen zunächst angeregt. Erhöht man aber

die Konzentration, dann wachsen sie sich in einem höllischen Amoklauf zu Tode, weil die Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln dem hektischen Wachstumsreiz nicht mehr zu folgen vermag. Für die praktische Anwendung ist es wichtig, daß nur breitblättrige Pflanzen abgetötet werden, während Gräser und demzufolge auch die Getreidearten nicht darauf ansprechen. Deshalb liegt ihr Hauptanwendungsgebiet im Getreidebau. Zu den wichtigsten Wachstumsstoffherbiziden gehört nach wie vor die schon lange bekannte 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure, die man einfach 2,4-D nennt. Von den anderen systemisch wirkenden Herbiziden werden die Karbamate von Bedeutung bleiben. Man bringt sie kurz vor dem Keimen aus. Da sie nur wenig wasserlöslich sind, reichern sie sich in der Bodenoberfläche an und töten hier die keimenden Unkrautsamen ab. Die tiefer liegenden Kultursamen werden nicht angegriffen. Neben den Wachstumsstoffherbiziden gewinnen zukünftig auch die Fotosynthesehemmer an Gewicht.

1945 gab es nur drei oder vier wesentliche Herbizide, 1956 zirka 40, 1963 schon 90, und heute dürften weit über 100 Substanzen mit einem breit differenzierten Wirkungsspektrum zur Verfügung stehen.

Die modernen PSM gehören ohne Zweifel zu den für jedermann augenfälligsten Leistungen der Chemie. Es wäre aber geradezu wunderbar, wenn wir heute schon – nach einer nur 35jährigen Entwicklung – über »vollkommene« Präparate verfügen würden. Deshalb wird in vielen Laboratorien geforscht, um die nicht immer unbedenklichen Chemikalien durch umweltfreundlichere biologische Verfahren zu ersetzen. Bisher konnte aber ein Äquivalent für die »Teufelsprodukte« der Chemiker nicht gefunden werden, und viele der in Arbeit befindlichen modernen Verfahren sind bei näherem Hinsehen nur eine neue Generation chemischer Methoden, die allerdings mit biologischen Aspekten sehr oft eng verbunden sind.

Überlegungen und Experimente, die das Ziel verfolgen, Insekten gegen sich selbst einzusetzen, erscheinen besonders interessant. Der Grundgedanke des Verfahrens besteht darin, wiederholt eine große Anzahl sterilisierter Männchen der zu bekämpfenden In-

sektenart freizulassen, um so die Population drastisch zu dezimieren und schließlich auszulöschen, denn die mit einem sterilen Männchen gepaarten Weibchen werden nur unfruchtbare Eier legen. Der erste und zugleich auch bekannteste Fall einer gelungenen Selbstvernichtung betraf eine nordamerikanische Fliegenart, die ähnlich wie die europäische Schmeißfliege ihre Eier an kleinen Hautwunden von Wild und Weidetieren ablegt. Die in den bisherigen Großexperimenten benötigten Insektenmännchen wurden sämtlich durch Bestrahlung steril gemacht. Seit einigen Jahren versucht man jedoch, die gewünschten Effekte auch mit Chemikalien, sogenannten Chemosterilantien, zu erreichen. In den USA hat man unter Tausenden in dieser Richtung überprüften Substanzen bisher allerdings kaum 100 mit einer befriedigenden Wirkung gefunden. So konnten z. B. auf einer kleinen Insel der Florida Keys mit dem 1-Aziridinphosphornitril (Hexakis) binnen fünf Wochen alle Stubenfliegen ausgerottet werden.

Eine weitere raffinierte Bekämpfungstaktik stellt fast noch höhere Anforderungen an die Chemiker. Wenn man es nämlich fertigbrächte, alle Insekten eines bestimmten Terrains an eine Stelle zu locken, so könnte man dort mit Hilfe von Kontakt- oder Fraßinsektiziden eine ebenso konzentrierte wie umweltschonende Bekämpfung durchführen. Womit aber sollten die Insekten angelockt werden? Natürlich mit Futter! Für ein pflanzenfressendes Insekt in einer Umgebung voller Pflanzen ein halbwegs sicher anlockendes Futter zu finden, dürfte jedoch schwer sein. Wie aber, wenn es gelänge, die in winzigsten Mengen ausgeschiedenen Substanzen zu verwenden, mit denen die Insektenmännchen ihre Weibchen oft über beträchtliche Entfernungen hinweg finden?

Als erstes Pheromon – so bezeichnet man diese Stoffe – wurden aus 500 000 Insektendrüsen einige Milligramm vom Sexuallockstoff des Seidenspinners (*Bombyx mori*), dem sogenannten Bombykol, isoliert, von dem schon wenige Moleküle eine Wirkung zeigen. Bis zum Jahre 1972 gelangen etwa 40 verschiedene Präparationen. Da man jedoch nicht für jede Bekämpfungsaktion vorher erst einige 100 000 Tiere fangen und daraus den Lockstoff

gewinnen kann, ist man auf eine Synthese angewiesen, die bis 1972 nur in sieben Fällen gelungen ist. Sexuallockstoffe sind aber sehr komplizierte Verbindungen, so daß es keineswegs einerlei ist, ob nicht auch einfacher gebaute Substanzen die gewünschte Wirkung zeigen. Glücklicherweise konnte dies bestätigt werden. So wurden in Florida zur Bekämpfung der Mittelmeerfruchtfliege (*Ceratitis capitata*) mit Erfolg Derivate der Zyklohexenkarbonsäure (Siglure, Medlure, Trimedlure) als Lockstoffe eingesetzt. Bei der Stubenfliege erwies sich die wäßrige Lösung von 5% Malzextrakt, 5% Alkohol, 0,02% Skatol und 1% eines Azetals als wirksam. Ob die in einem bestimmten Terrain vorhandenen natürlichen Pheromone einfach durch eine höhere Konzentration der zur Bekämpfung eingesetzten Lockstoffe überdeckt werden können, erscheint zumindest fraglich. Es wäre deshalb wünschenswert, durch Abwandlung der chemischen Strukturen noch stärker wirkende Verbindungen zu synthetisieren, als es die natürlichen Lockstoffe selbst sind. Sehr interessant und aussichtsreich ist auch die Suche nach den Antagonisten der natürlichen Pheromone, die die naturbedingte Anziehung zwischen Männchen und Weibchen in eine abstoßende Wirkung verwandeln würden!

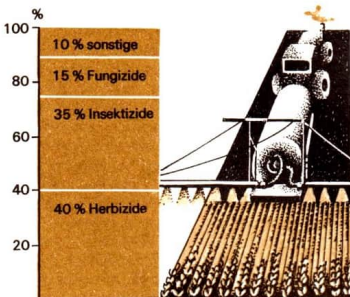
Im Gegensatz zu den Lockstoffen gibt es Abschreckmittel (Repellents) zwar schon in beachtlicher Auswahl, aber ihre Qualität, insbesondere ihre Wirkungsdauer und Spezifität, läßt noch sehr zu wünschen übrig. Die bekanntesten Repellents sind die für den Schutz des Menschen entwickelten Mückenschutzmittel (z. B. Diäthyltoluolamid). Im Pflanzenschutz konzentriert sich die weitere Forschung auf die bis jetzt noch nicht befriedigend gelöste Abschreckung der Honigbiene von giftigen Insektiziden und auf den Schutz der Bäume vor Wildschäden.

In den Zauberküchen der Chemiker wurden aber noch differenzierter wirkende Substanzen geboren, die weder abschrecken noch töten. Statt dessen machen sie das behandelte Produkt für den Schädling »nur« ungenießbar. Es handelt sich um die sogenannten Antifeedings, die fraßverhindernden Präparate. Ihre Vorläufer sind die schon seit 1928 für den Schutz von Wolle angewendeten Mottenfraßmittel.

Seit einigen Jahren versucht man die Insektenvölker sogar mit ihren eigenen Hormonen zu bekämpfen! Sollte es gelingen, diese Methode bis zur technischen Anwendbarkeit zu entwickeln, dann wird es in der Schädlingsbekämpfung kein Resistenzproblem mehr geben. (Denn daß die Tiere gegen ihre eigenen Hormone resistent werden könnten, ist wohl kaum anzunehmen.) Im Jahre 1968 wurde über erste Bekämpfungserfolge mit einem synthetischen Juvenilhormon berichtet. Eine schädliche Wanzenart wurde im Labor gezüchtet und mit Überdosen der aktiven Substanz bespritzt. Im Freien bei der Paarung übertrugen die Tiere das Hormon. Die Insekten blieben »jugendlich« und damit steril. Mit einigen Gramm Hormon konnten 10 Mill. Insekten unfruchtbar gemacht werden.

Antibiotika sind für eine praktische Verwendung zur Bekämpfung von Pilzen, Bakterien und besonders von Viruskrankheiten bisher meist zu instabil und kostspielig. Man erwartet aber, daß sie sich in der Zukunft zu einer ernsthaften Konkurrenz für die toxischen organischen Quecksilberverbindungen entwickeln werden.

Alle diese »neuen Verfahren« befinden sich mehr oder weniger noch im Entwicklungsstadium. Inwieweit die eine oder andere Methode wirtschaftliche Bedeutung erlangen kann, ist heute noch nicht abzusehen. Die vielseitige Anwendbarkeit der »klassischen« chemischen Bekämpfungsmaßnahmen sowie die Möglichkeit, industriemäßige Arbeitsmethoden einzuführen, sind bislang Vorteile, die von keinem anderen Verfahren erreicht werden. Ebenso steht aber fest, daß die unkontrollierte Ausdehnung des PSM-Einsatzes eine wachsende Umweltgefährdung mit sich bringen wird. Die Forderung kann also nur lauten: Ausweitung der Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen zur maximalen Steigerung der Ernteerträge bei gleichzeitiger Schonung der Umwelt und der menschlichen Gesundheit. Der Weg, auf dem diese scheinbar einander entgegenstehenden Ziele erreicht werden sollen, heißt »integrierter Pflanzenschutz«. Darunter versteht man eine sinnvolle, den speziellen Anforderungen entsprechende Kombination von chemischen, biologischen und agrotechnischen Maßnahmen. In diesem



Voraussichtliche Spezifizierung der Pflanzenschutzmittelproduktion im Jahre 1980.

System werden die chemischen Bekämpfungsverfahren ihre Vorrangstellung behalten. Aber vielleicht wird der Pflanzenarzt eines Tages auch ohne den massenhaften Einsatz umweltgefährdender Chemikalien auskommen. Möglicherweise verwendet er dann das hochwertige, spezifisch wirkende Präparat nicht anders als ein Mediziner, der vorbeugend eine Wunde mit Sepsotinktur behandelt. Zum Funktionieren einer solchen Technologie bedarf es langwieriger Forschungsarbeiten, denn bis dahin müssen die chemischen Wirkstoffe zur Schädlingsbekämpfung »messerscharf« geworden sein.

Neben der pflanzlichen Produktion ist als zweite Hauptsäule der Landwirtschaft bekanntlich die Viehhaltung zur Erzeugung von Fleisch, Milch und Eiern von größter Bedeutung. Auch auf diesem Gebiet geht es heute nicht mehr ohne die Chemie. Aber gibt es deswegen — wie manche meinen — schon eine

Chemisierung der Tierproduktion?

Tatsächlich macht der Siegeszug der Chemie durch die Gefilde der Landwirtschaft auch vor dem Viehstall nicht halt. Tierproduktion unter industriemäßigen Bedingungen erfordert nämlich nicht nur hohe Tierkonzentrationen

nen, neue Technik und rationelle Arbeitsorganisation, sondern vor allem auch – und das bleibt vielen verborgen – einen schnell wachsenden Chemisierungsgrad.

Der Verbrauch chemischer Produkte zur Gesunderhaltung und Leistungsverbesserung der Tierbestände stieg in den fortgeschrittenen Ländern seit 1965 um durchschnittlich 9 % pro Jahr, und er wächst auch heute noch an. Zu diesen Erzeugnissen zählen Vitamine, Pharmazeutika, Antioxydantien, Mineralstoffe, Stalldesinfektionsmittel, Eiweißfuttermittel und stickstoffhaltige Nichtproteine. Beispielsweise enthält die bekannte Wirkstoffmischung Kälpan außer 7,8 % Weizenkleie, 5 % Weizenkeimen und 15 % Hafermehl nicht weniger als 72,2 % chemisch-biologische Präparate, nämlich 45 % Trockenfutterhefe, 25 % Antibiotikumkonzentrat mit 2 % Wirkstoffgehalt, 2 % Mineralstoffmischung und 0,2 % synthetisches Vitamin-A-Konzentrat. Eine vollmilchsparende Kälberaufzucht mit Kälpan erspart in 100 Tagen 8 kg Milchfett für die menschliche Ernährung und ist obendrein billiger. Andererseits enthalten die dafür benötigten 2 kg Kälpan fünfmal soviel Vitamine A und D wie die dem Tier vorenthaltenen 8 kg Milchfett. Den energetischen Ausgleich bringen 20 kg Krafftuttergemisch. Praxisbewährte Wirkstoffmischungen gibt es auch für Ferkel, Säuen, Mastschweine und Legehennen (Legapan).

In Verbindung mit geeigneten Vitamingaben bewirken Antibiotika bei der Schweine- und Geflügelmast eine um 10 % höhere Gewichtszunahme sowie eine Einsparung von 10 % Eiweiß. Außerdem senken sie radikal die Aufzuchtverluste.

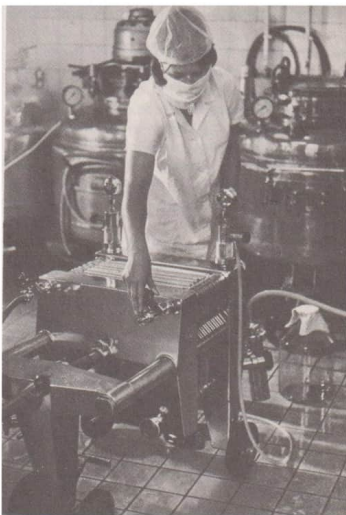
Um das Ranzigwerden der Nahrungsfette und vor allem die Zerstörung der oxydationsempfindlichen Vitamine zu verhindern, setzt man den Futtermischungen Antioxydantien zu, von denen sich beispielsweise das Äthoxyquin gut bewährt hat.

Selbst die Mineralstoffmischungen werden heute nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten zubereitet. Der aus Futterphosphat bestehende Hauptbestandteil wird in exakt berechneten Dosierungen mit zahlreichen Mikronährstoffen wie Mangan, Kupfer, Zink, Bor, Molybdän, Kobalt, Jod angereichert, so daß sich die harmlos anmutenden Produkte

inzwischen zu ausgeklügelten Agrochemikalien »gemausert« haben. Anfang der 70er Jahre wurden in der DDR bereits 25 verschiedene Mischungen erzeugt, während es 1965 erst zehn waren.

Um den Eiweißbedarf der Wiederkäuer (bis etwa 25 %) zu decken, tendiert die Industrie immer mehr zur Entwicklung stickstoffhaltiger Futterzusätze ohne Proteincharakter. So hat sich der Einsatz von Harnstoff zusammen mit eiweißarmen Futterstoffen, darunter neben Stroh auch Baumwoll-, Rüben-, Getreide-, Zellstoff- und sogar Holzabfällen, bewährt. Nach internationalen Erfahrungen bringt 1 kg Harnstoff bei sachgerechter Anwendung in

Der größte Teil unserer Veterinärpharmaka kommt aus dem VEB Serumwerk Bernburg, der seine Produkte auch in viele andere Länder liefert. Allein die Anwendung von Impfstoffen in der industriellen Tierproduktion bringt gegenwärtig einen Nutzen, der den erforderlichen Aufwand um das 3- bis 6fache übertrifft.



einem Kleie und Getreideschrot enthaltenden Mischfuttermittel 10 kg Milch oder 2 kg Fleisch. Jede Tonne Harnstoff, die in der Futterwirtschaft eingesetzt wird, erspart die Verfütterung von mehr als 2 t Rohprotein.

In der letzten Zeit ist in der DDR die Produktion von Strohpellets unter Verwendung von Stickstoffverbindungen, Zuckerrübenschnitzeln, Getreideschrot und Melasse als wertvolles Futter für Wiederkäuer stark angewachsen. 1976 wurden nicht weniger als 1,4 Mill. t Stroh mit 30 000 t Harnstoff pelletiert. Das war dreimal soviel wie 1975! 1000 t dieser Pellets ersetzen den Nährstofftrag von 100 ha Hauptfutterfläche. Bis 1990 soll die jährlich auf diese Weise verarbeitete Strohmenge bis auf 3000 kt ansteigen. Dabei will man einen Teil der Futtermischungen künftig noch effektiver und in besserer Qualität durch Extrudieren unter Druck und erhöhter Temperatur herstellen.

Es gibt fernerhin Anzeichen dafür, daß in der Zukunft sogar die Tierexkrementa verstärkt in die Futtermittelkette zurückgeführt werden. So kann man die Abfälle großer Viehherden und Geflügelfarmen in Lagunen einlagern und dort proteinhaltige Algen erzeugen. Die aus der Schweinegülle abgeschiedenen Feststoffe sind mit Erfolg in der Bullenmast einsetzbar. Vielleicht aber lassen sich die nährstoffhaltigen Tierexkrementa auch nach einem hydrolytischen Aufschluß zusammen mit pflanzlichen Kohlenstoffträgern wie Stroh oder Holz in die Eiweißbiosynthese einbeziehen. Damit könnte es möglicherweise gelingen, lästige Abfallprodukte in wertvollste Futterstoffe umzuwandeln.

In den letzten 15 Jahren konnte durch die Anwendung wissenschaftlich begründeter Futter- und Wirkstoffmischungen die Futterwirksamkeit für Geflügel und Rinder um 50 % und für Schweine um 40 % erhöht werden. Eine Gewichtseinheit Broiler wird heute mit 33 % weniger Futter und in einer um drei Wochen kürzeren Zeit als vor 30 Jahren produziert. Welche Bedeutung das hat, kann daran ersehen werden, daß 1975 allein in der DDR 11 Mill. Schweine und 5 Mill. Rinder sowie zahlreiches Geflügel mit Futtermitteln im Werte von rund 10 Mrd. Mark versorgt werden mußten.

Bemerkenswerte Eingriffe in den Ablauf

biologischer Prozesse ermöglichen die sogenannten Brunstsynchronisatoren. Mit diesen Stoffen kann der Fortpflanzungszyklus der Tiere zeitlich gesteuert werden. Die Methode beruht darauf, daß durch eine höhere Konzentration der weiblichen Sexual- (oder Ovarial)hormone im Blut die Entstehung der auf die Keimdrüsen (Gonaden) einwirkenden Gonadotropine und damit der gesamte ovarielle Zyklus nach Bedarf gehemmt werden kann. Vergleiche dazu auch Seite 237.

Ovarialhormone sind Steroide. Steroide aber werden bei der Aufnahme mit dem Futter in der Leber abgebaut und dadurch unwirksam. Andererseits sind tägliche Injektionen bei großen Tierbeständen unmöglich. Depotpräparate, die nach einer einmaligen Verabreichung längere Zeit wirksam sind, haben sich bisher nicht bewährt. Inzwischen gelang es jedoch den Chemikern, bestimmte Eingriffe im Steroidmolekül vorzunehmen, die es gestatten, die Präparate nunmehr doch mit dem Futter zu verabreichen. Die wichtigsten Produkte dieser Art leiten sich von den Ovarialhormonen Progesteron und Testosteron ab. Man verfügt aber auch schon über Stoffe, die keine Steroide sind und dennoch die Gonadotropinsekretion zu hemmen vermögen. Mit der Verfüttung solcher »Ersatzhormone« läßt sich bei den weiblichen Tieren die Freisetzung der für das Funktionieren der Eierstöcke notwendigen Hormone blockieren. Nach dem Absetzen des Präparats treten Brunst und Ovulation (Freiwerden des reifen Eis) zum gleichen Zeitpunkt auf. Damit können alle auf den Fortpflanzungsprozeß folgenden Arbeitsgänge (wie Impfen, Absetzen, Umstellen, Mast) vollkommen synchron abgewickelt werden.

Es ist verständlich, daß die Brunstsynchronisation für die industrielle Tierproduktion von großer Bedeutung ist, weil sie die Voraussetzungen für eine exakt planbare industrielle Tierzucht schafft. Aber damit sind noch längst nicht alle Probleme gelöst, denn die Schwankungen der Trächtigkeitsdauer (beim Schwein z. B. zwischen 110 und 118 Tagen) ist vorläufig noch ein recht unerwünschter Störfaktor. Deshalb wäre es ideal, wenn man auch die Geburt selbst synchronisieren könnte. Das aber ist Zukunftsmusik.

Für jedermann ist heute offensichtlich, daß

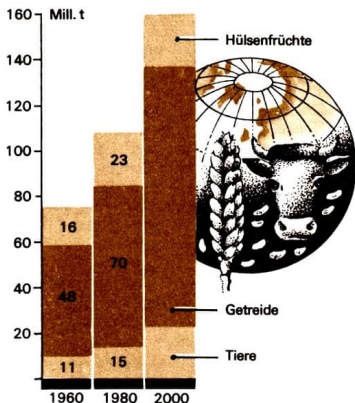
die Produktionsziffern an Fleisch, Milch und Eiern nicht zuletzt mit Hilfe der Chemie in den vergangenen Jahren kontinuierlich angestiegen sind. Trotzdem sagen uns heute die Ernährungsspezialisten oft mit warnender Stimme:

Das Hauptproblem heißt Eiweiß!

Zusammen mit den Kohlenhydraten und Fetten gehören die Eiweißstoffe zu den drei Hauptsäulen der menschlichen und tierischen Ernährung. Während sich aber Kohlenhydrate und Fette als Energieträger bis zu einem gewissen Grade gegenseitig ergänzen können, ist das beim Eiweiß nicht möglich, denn für die ständige Regeneration der Organe und für den wachsenden Organismus ist es unentbehrlich.

Neben einer lückenhaften Versorgung mit Vitaminen und Mineralien ruft vor allem der Mangel an Eiweiß in vielen Ländern der Welt die mehr oder weniger auffälligen Symptome der Fehlernährung hervor. Weit über die Hälfte aller Menschen ist davon betroffen. Rund zwei Drittel der Erdbevölkerung müssen sich mit nur 20% des Welteiweißaufkommens begnügen. Als lebensnotwendige Tagesnorm gilt die Versorgung mit 1 g, bei Kindern mit 2 bis 3 g Protein je Kilogramm Körpergewicht. Davon soll mindestens ein Drittel tierischer Herkunft sein. Wünschenswert für einen Erwachsenen ist jedoch die Aufnahme von insgesamt etwa 100 g Protein. Demgegenüber werden heute in den schwach entwickelten Ländern von nahezu 1 Mrd. Menschen kaum 50 g, in den Industrieländern aber 85 bis 95 g Eiweiß pro Kopf und Tag verbraucht.

Über 60% des von der Menschheit konsumierten Eiweißes und bis zu 90% aller Proteine in den Futtermittelbilanzen sind pflanzlicher Herkunft. Diese Spitzenposition des Pflanzenproteins wird auch künftig erhalten bleiben, zumal die Bemühungen zur weiteren Steigerung der Erträge und besonders des Proteingehalts, z.B. beim Weizen, Reis und Mais, sehr erfolgreich waren. So gibt es heute schon Weizensorten mit 21% Rohprotein, während der durchschnittliche Eiweißgehalt unserer Getreidekulturen vorläufig noch zwischen 9 und 14% liegt.



Proteinbedarf der Weltbevölkerung 1960, 1980 und 2000 bei Fortschreibung des ungenügenden Versorgungsgrades von 1960 (durchschnittlich 67 g Eiweiß pro Kopf und Tag). Wollte man täglich 80 g Eiweiß pro Kopf bereitstellen, so müssten im Jahre 1980 insgesamt etwa 128 Mill. t und um 2000 sogar 190 Mill. t Protein aufgebracht werden. Dazu kommt jeweils noch einmal die 4fache Eiweißmenge zur Sicherung der Tierernährung.

Aber von den 20 Aminosäuren, die für den Aufbau der körpereigenen Stoffe erforderlich sind, können nur zwölf vom Körper selbst synthetisiert werden. Die anderen – darunter besonders Lysin, Methionin und Tryptophan – muß man mit der Nahrung zuführen. Leider ist jedoch gerade der Anteil dieser wesentlichen (essentiellen) Aminosäuren in den meisten pflanzlichen Nahrungsmitteln viel zu gering. Dagegen kommt die Aminosäurezusammensetzung des besser verdaulichen tierischen Eiweißes derjenigen unseres Körpers bedeutend näher. Deshalb wird der Bedarf an essentiellen Aminosäuren normalerweise mit der Aufnahme des tierischen Eiweißes gedeckt, von dem in den hochentwickelten Industriestaaten durchschnittlich 47,5 g pro Kopf und Tag, in den schwach entwickelten Ländern mit 9,5 g aber fünfmal weniger zur Verfügung stehen.

Bei oberflächlicher Betrachtung könnte man auf den Gedanken kommen, das Eiweißproblem durch eine entsprechende Erhöhung der Tierbestände lösen zu wollen. Das ist jedoch nicht nur undiskutabel, weil die Umwandlung pflanzlicher in tierische Produkte mit einer durchschnittlichen Verlustrate von 6:1 bezahlet werden muß, sondern auch deshalb, weil unsere Nutztiere zu ihrem Gedeihen ebenfalls große Mengen wertvoller Proteine benötigen. Es ist aus diesem Grunde nicht überraschend, wenn die in vielen Ländern geplanten Zuwachsraten der Tierproduktion ernsthaft gefährdet sind. Selbst die gewiß nicht unterentwickelte sowjetische Viehwirtschaft registrierte noch Anfang der 70er Jahre eine jährliche Fehlmenge von mindestens 6 Mill. t Protein! Wen also wundert es, daß man überall nach neuen Möglichkeiten zur Erhöhung des Eiweißaufkommens sucht?

Die größten Proteinreserven auf dem Festland, die oft übersehen werden, sind in den Blattmassen gespeichert. Sie liefern bei uns bis zu 2 t Protein je Jahr und Hektar, während in den Tropen bis zu 5 t/Jahr entstehen können. Bedauerlicherweise verursacht ihre Anreicherung (durch Zerkleinern und Extrahieren) mit einem Aufwand von umgerechnet etwa 0,75 t Rohöl je Tonne Eiweiß ziemlich hohe Energiekosten.

Bei der Zusammenstellung der Futtermitteln in der Tierproduktion müssen heute oft noch überhöhte Eiweißmengen eingesetzt werden, um den Bedarf der Tiere an essentiellen Aminosäuren zu decken. Kein schlechter Gedanke ist deshalb die Aufwertung pflanzlicher Eiweiße durch den Zusatz der fehlenden Aminosäuren, die man z.T. schon fermentativ oder totalsynthetisch praktikabel herzustellen vermag. So kann eine Zugabe von 0,4% Lysin zum Weizenmehl dessen biologische Wertigkeit um nicht weniger als 50% steigern. In der Geflügel- und Schweineaufzucht hat sich mit Methionin angereichertes Sojamehl als Proteinquelle ausgezeichnet bewährt.

Vorteilhafter wäre es aber, die Pflanzenproteine schon während des Wachstumsprozesses stärker mit den fehlenden Aminosäuren anzureichern. Diese Möglichkeit bietet uns die Pflanzenzüchtung. Durch genetische Maßnahmen konnte z. B. der Lysingehalt bei Mais-

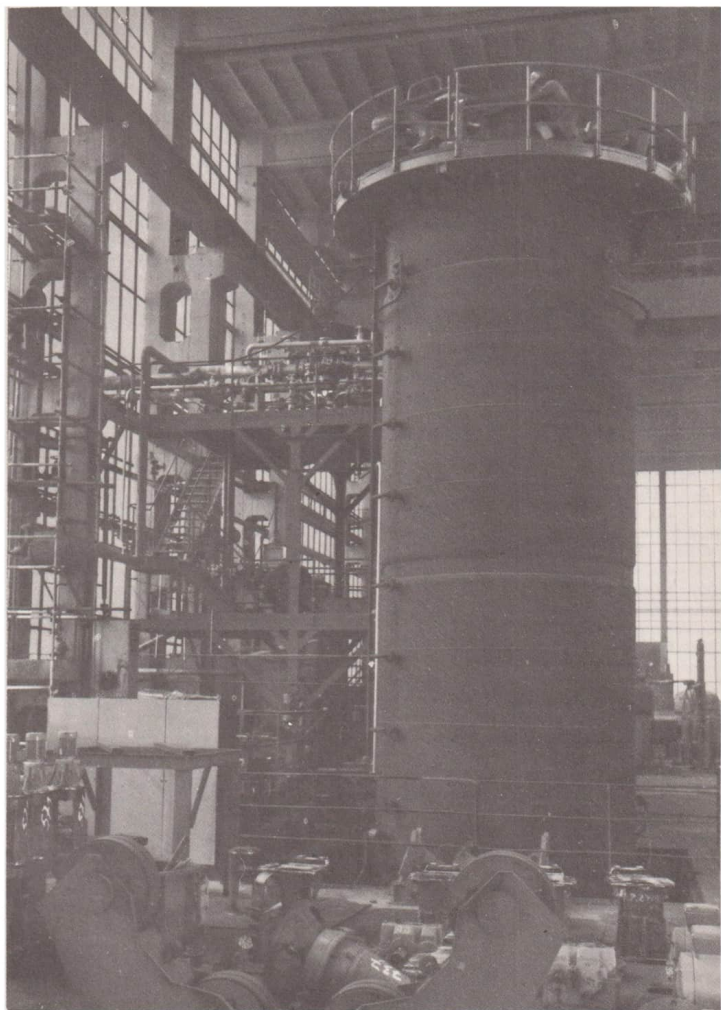
und Weizenprotein von 2% bis fast auf 4% gesteigert werden.

Besonders im Zusammenhang mit den Bemühungen zur Erhöhung des Aufkommens an Futtereweiß rücken zunehmend auch die unkonventionellen Methoden der Proteingewinnung in den Blickpunkt. So gibt es in vielen Ländern große Mengen an Holzabfällen, Stroh und anderen Rückständen der pflanzlichen Produktion, die man mit Hilfe geeigneter Verfahren in wertvolle Proteine umwandeln kann. Dazu wird die Zellulose mit Säure hydrolysiert, während der industrielle Einsatz von Enzymen für diese Zwecke vor 1995 wohl nicht zu erwarten ist. Die entstehende Glukoselösung dient nach ihrer Neutralisation und dem Zusatz von Salzen bestimmten Hefepilzen der Gattung *Candida* als Nährsubstrat für den Aufbau körpereigener Eiweißstoffe. Diese Mikroorganismen benötigen im Gegensatz zu unseren Nutztieren und zum Menschen keinerlei Proteinernährung. Am Ende liefern sie ein hellbraunes Pulver, das bei einem Gehalt von zirka 50% Rohprotein sowie verschiedenen Vitaminen ein hochwertiges Eiweißfutter ist. Außerdem werden auch andere zuckerhaltige Lösungen wie Melasseschlempe und die bei der Zellstoffproduktion anfallenden Sulfitaugen als Nährlösungen für die Hefeferzeugung genutzt.

Eine größere Hydrolysenindustrie zur Gewinnung von Alkohol und – in wachsendem Maße – von Futterhefe besitzt gegenwärtig nur die Sowjetunion. Anfang der 70er Jahre wurden etwa 2 Mill. t Holzreste verarbeitet, während 1980 etwa 4 Mill. t Holz trockenmasse für diese Zwecke eingesetzt werden sollen. 1975 sind in der UdSSR bereits 978 000 t Futterhefe, davon rund die Hälfte aus Sulfitaugen und Pflanzenhydrolysaten, produziert worden.

Außer Zucker vermag die Hefezelle auch Alkohole und organische Säuren zu assimilieren. Von diesen Verbindungen wird möglicherweise das Methanol künftig eine größere

»Landwirtschaftliche Produktion« in der Retorte. Gemeinsam entwickelt, in der DDR gefertigt, in der UdSSR errichtet und betrieben: 63-m³-Fermenter zur Gewinnung von Hefe-eiweiß aus Kohlenhydraten. Bereits erfolgreich erprobt wurden 100-m³-Fermenter.



Bedeutung gewinnen, weil es preisgünstig und in großen Mengen aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff bereitgestellt werden kann.

Erstaunlicherweise hat sich gezeigt, daß Hefepilze der Gattung *Candida* unter bestimmten Bedingungen sogar auf Dieselöl, also auf Kohlenwasserstoffen mit einer Kette von mindestens 15 Kohlenstoffatomen, wachsen können. Bei stark paraffinhaltigen und deshalb auch schwer pumpfähigen Erdölsorten lassen sich dadurch »zwei Fliegen mit einer Klappe schlagen«. Das Rohöl wird von unerwünschten hochmolekularen und deshalb viskositäts erhöhenden Paraffinen befreit, und gleichzeitig entsteht ein wertvolles Eiweißkonzentrat. Heute verwendet man aber praktisch nur noch gereinigte Erdölfractionen für diese Zwecke.

Außerdem ist bemerkenswert, daß sich reines Erdgas zur Produktion von Bakterieneiweiß (z. B. der Gattungen *Methylococcus* und *Pseudomonas*) eignet. Das bei allen Erdölbohrungen anfallende Gas, das bisher meist abgeflackelt wird, ließe sich auf diesem Wege als wertvolle Eiweißquelle nutzbar machen.

Aus 100t ungereinigtem Heizöl können etwa 10t Hefebiomasse (entsprechend 5t reinem Eiweiß) und 90t Dieselöl hergestellt werden. Dieselbe Hefemenge liefern vergleichsweise auch 50t (entsprechend etwa 100m³) Holztrockenzustand oder 30000m³ Erdgas im Normalzustand. Wollte man die äquivalente Eiweißmenge mit Hilfe von Milchkühen im Verlaufe eines Tags produzieren, so wären dazu 10000 Kühe mit je 500kg, also insgesamt 5000t Gewicht erforderlich. Mit der gleichen Masse an Hefekultur könnten dagegen nicht weniger als 2500t Eiweiß erzeugt werden, weil die Wachstumsrate der Hefezellen bis zu 10000mal größer als die des Rindes ist. Außerdem benötigen 10000 Kühe sehr viel Land, während für die Eiweißherzeugung in der vom Klima unabhängigen und automatisierbaren Fabrik vergleichsweise minimale Flächen erforderlich sind.

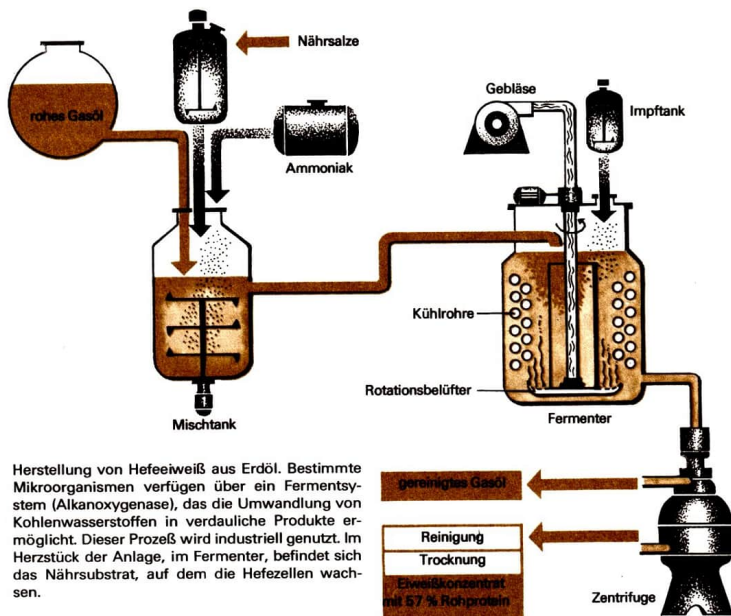
Abgesehen von der mikrobiologischen Zuckerumwandlung werden Proteine großtechnisch bisher nur aus Erdöl gewonnen. Allein in der Sowjetunion soll diese Produktion im Jahre 1980 über 1 Mill. t erreichen. Eine Großanlage zur Erzeugung von Erdöleiweiß (Fermosin) nach einem gemeinsam mit

der Sowjetunion entwickelten Verfahren wird gegenwärtig auch auf dem Gebiet der DDR im Erdölverarbeitungswerk Schwedt errichtet. Die rund 700 Erdölraffinerien, die es auf der Welt gibt, könnten jährlich ungefähr 20 Mill. t Protein erzeugen. Das wäre mehr als die gesamte Eiweißproduktion tierischer Herkunft.

Mit 1t Futterhefe kann man über den Tiermagen etwa 800kg Schweinefleisch, 1,5 bis 2,5t Geflügelfleisch oder 15000 bis 30000 Eier produzieren, wobei man obendrein noch bis zu 5t Getreide einspart. In der sowjetischen Landwirtschaft bringt die Verarbeitung von je 1 Mill. t Futterhefe einen Produktivitätszuwachs von 100 Mill. Arbeitsstunden.

Die notwendige Veredelung der unkonventionellen Eiweißpräparate ebenso wie der Pflanzeiweiße erfolgt bis heute fast ausschließlich auf dem Umweg über das Tier. Mit technischen Mitteln ließe sich dieser Prozeß wesentlich verlustärmer gestalten, und die biologische Wertigkeit des dem Menschen zugedachten Proteins könnte obendrein noch optimiert werden. Das eigentliche Problem besteht darin, aus zumeist wenig appetitlichen Stoffen kaubare und bekömmliche Nahrungsmittel zu gewinnen. Dazu werden hochreine Eiweißkonzentrate und -isolate mit geeigneten Aromastoffen versetzt und die zähflüssigen, honigartigen Lösungen wie Textilfasern versponnen. Nach dieser Methode wurden schon 1969 in den USA etwa 11000t fleischähnliches Sojaprotein hergestellt. Eine einfachere, wenn auch nicht ganz so gut durchgearbeitete Methode ist das Extrudieren, wofür man niedrigerkonzentrierte Eiweißisolate verwenden kann. Eine technologisch praktikable Züchtung eiweißreicher Pilzmyleen mit faserartiger Struktur könnte den Spinnprozeß eines Tags vielleicht sogar überflüssig machen. Wie immer jedoch eine verallgemeinerungsfähige Lösung aussehen mag, die Verwendung von unkonventionellem Eiweiß (wozu übrigens auch die vieldiskutierte Algennahrung gehört) direkt für die menschliche Ernährung wird von den meisten Fachleuten für die Zukunft als sicher vorausgesagt.

Künstliche Eiweißfuttermittel sind ein Ergebnis der aufstrebenden mikrobiologischen Industrie. Sieht man einmal von der alkoholo-



Herstellung von Hefeeiweiß aus Erdöl. Bestimmte Mikroorganismen verfügen über ein Fermentsystem (Alkanooxygenase), das die Umwandlung von Kohlenwasserstoffen in verdauliche Produkte ermöglicht. Dieser Prozeß wird industriell genutzt. Im Herzstück der Anlage, im Fermenter, befindet sich das Nährsubstrat, auf dem die Hefezellen wachsen.

lischen Gärung ab, die schon in der Steinzeit bekannt war und bereits seit Jahrhunderten (im alten Babylon gab es schon 20 Biersorten!) im großen Umfang zur Herstellung der allbekannten alkoholischen Getränke betrieben wird, so kann man den Beginn der Penicillinproduktion im Jahre 1947 als das erste Großereignis der modernen technischen Mikrobiologie bezeichnen. Damit gelang es zum ersten Male, Mikroorganismen bei starker Belüftung und unter Ausschluß von Fremdkeimen in technischen Reinkulturen zu züchten. Zwei Jahre später wurde in Japan mit der Glutaminsäure die erste Aminosäure biosynthetisch erzeugt. Inzwischen werden nicht nur Antibiotika und Vitamin-Eiweiß-Futtermittel, sondern auch Fermentpräparate, Wachstumsstoffe (z. B. Gibberellin), bakteriologische Düng- und Pflanzenschutzmittel sowie niedermolekulare Zwischenprodukte (z. B.

Zitronensäure) produziert. Mikrobiologisch erzeugte Futterzusätze sind davon am bedeutsamsten, denn sie nehmen heute in der modernen Viehhaltung etwa dieselbe Stellung ein wie Pflanzenschutzmittel und Mineraldünger in der Pflanzenproduktion.

Seit Jahren werden auch isolierte Enzyme als Produktionskatalysatoren besonders für die Wasch- und Nahrungsmittelindustrie sowie die pharmazeutische Chemie bereitgestellt. Einen großen Fortschritt brachte hier die Entwicklung der an hochmolekulare Träger gebundenen Enzyme, die sich leicht aus dem Reaktionsgemisch abtrennen lassen und so wiederholt verwendet werden können. Überhaupt wird die Produktion von chemisch nur schwer zugänglichen, komplexen organischen Molekülen, zu denen bekanntlich die Proteine gehören, weiter in den Vordergrund treten, denn auf diesem Gebiet wird die He-

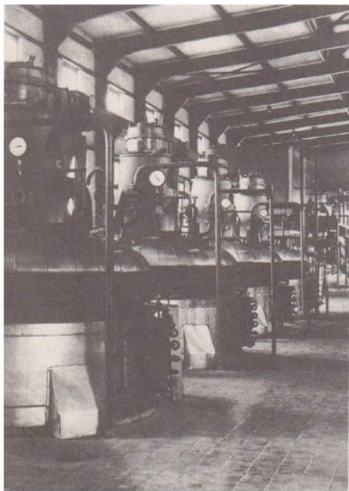
fezelle dem Chemiereaktor wohl noch lange überlegen bleiben. Nicht zuletzt deshalb räumt man der mikrobiologischen Industrie für die Zukunft beachtliche Entwicklungschancen ein.

Ein großer Teil dieser Aktivitäten wird direkt oder indirekt unseren Speisezettel bereichern helfen. Das ist sehr erfreulich, denn

Essen macht Spaß ...

... gut essen macht viel Spaß! Wer wollte die tiefe Weisheit dieses Wortes bezweifeln? Gibt es doch selbst unter den Wissenschaftlern, die uns täglich zu einer gesunden Lebensführung

Moderne Anlage zur Fettaufbereitung. Von den 1300 verschiedenen natürlichen Fetten sind höchstens 20 von wirtschaftlicher Bedeutung. Die Weltproduktion schwankt um 45 Mill. t. Davon werden 80% für Nahrungszwecke, 15% für die Chemie (Seifen, Waschmittel, Lacke), der Rest als Futtermittel verwendet.

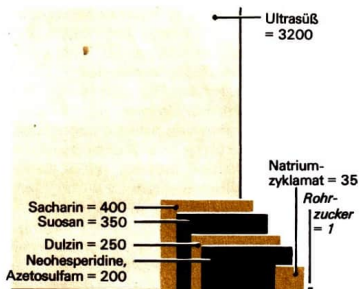


raten, nicht wenige, die das Leben nur mit einer molligen Speckschwarte auf den Rippen ertragen mögen. Die DDR jedenfalls nimmt in dem unrühmlichen Wettlauf um die größten Fettpolster eine Spitzenposition ein. 20% der männlichen und 40% der weiblichen Bevölkerung unserer Republik essen mehr, als der Körper benötigt!

Nach Auffassung der Mediziner sollte man möglichst nicht über 18kg Zucker im Jahr verzehren, aber die DDR-Bürger – Männer wie Frauen, Babys und Greise – konsumieren durchschnittlich 38kg pro Kopf. Die Spitze indes wird von einigen Ländern mit nicht weniger als 60kg gehalten, und selbst der Weltdurchschnitt lag 1975 immerhin schon bei 20kg. Freilich, Zucker schmeckt gut, und viele glauben, er sei eine Art »Nervennahrung«. Aber der Versuch, sich das Leben auf diese Weise zu versüßen, kann unter Umständen bitter enden! Könnten hier vielleicht eines Tages die Bemühungen der Chemiker zur Herstellung eines hochwertigen Süßstoffes in der Retorte weiterhelfen?

Unser täglicher Fettverbrauch liegt im Durchschnitt bei 89g pro Kopf und Tag, das sind jährlich 32,5kg (darunter 14,5kg Butter und 11kg Margarine) gegenüber nur 11 bis 11,5kg im Weltdurchschnitt. Von der globalen Fettproduktion in Höhe von ungefähr 45 Mill. t fließt die Hauptmenge in den Nahrungsmittelsektor. Etwa 15% gehen in die Industrie, wo eine breit gefächerte Palette chemischer Zwischenprodukte zur Gewinnung von Seifen, Emulgatoren, Netz- und Gleitmitteln, Weichmachern und Textilhilfsmitteln daraus hergestellt wird.

Für den Laien verbinden sich die Begriffe Fett und Chemie besonders augenfällig in der Margarine. Den Anstoß zu ihrer »Geburt« gab in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts die treusorgende französische Regierung mit dem Wunsch, das viele Geld für die teure Butter einzusparen, die sie ihren Soldaten in knapp bemessenen Mengen zuzuteilen sich genötigt sah. Sie schrieb deshalb einen Preis für die Herstellung eines billigen Ersatzfettes aus. Die Chemiker reagierten schnell. Der Franzose Mege-Mouriés verknetet Rindertalg mit Milch und Wasser, wobei er eine Masse erhielt, von der er in überschwenglichem Erfinderglück meinte, es sei die Perle



Wer auf den energiereichen Zucker, aber nicht auf Süßes verzichten will, der muß zum unverdaulichen, synthetischen Süßstoff greifen. Das Diagramm zeigt die relative Süßkraft einiger Substanzen dieser Art in bezug auf den Rohrzucker. Ultrasüß ist die süßeste bisher bekannte Verbindung überhaupt. Praktische Bedeutung haben zur Zeit nur Sacharin und Zyklamat. Günstige Zukunftsaussichten prophezeit man für Dihydrochalcone, Aspartame und Azetosulfam.

aller Brotaufstriche. Oder wie sonst soll man die Tatsache erklären, daß er den Namen für seine Schöpfung vom griechischen Wort margarón, d. h. Perle, ableitete? Bereits im Jahre 1870 stand die erste »Kunstfettfabrik«, deren Produkte sich jedoch zu den Erzeugnissen der modernen Margarineindustrie wie ein Oldtimer ältester Bauart zu einem supermodernen Straßenkreuzer verhalten.

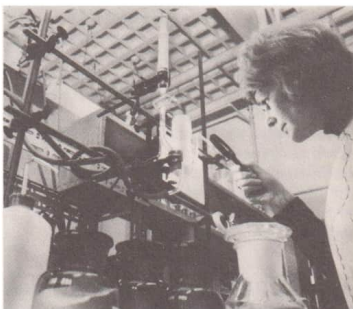
Heute werden zur Margarineherstellung ebenso wie für die Produktion von Kerzen und Seifen vornehmlich feste Fette verwendet, aber in der Natur überwiegen die flüssigen. Es war deshalb ein großer Erfolg, als es gelang, dieses Mißverhältnis durch eine chemische Härtung der flüssigen Fette in der Retorte auszugleichen. Dazu werden die Pflanzenöle und Trane in Gegenwart von Nickelpulver mit Wasserstoff teilweise oder vollständig hydriert, wobei zugleich auch der oft recht unerwünschte Geruch und Geschmack (Fischöl!) verschwindet. Die so gewonnenen Fettrohstoffe werden mit Lezithin, Vitaminen, Aromen, Salz und Farbstoffen (z. B. Karotin) versetzt, mit Milch oder Wasser emulgiert und

nach der »Kristallisation« sofort portionsweise verpackt. Die fertige Margarine besteht aus 80% Fett, 19% Wasser bzw. Milch und 1% Zusätzen. Ihre Verdaulichkeit beträgt 93 bis 95%. Kein Wunder also, daß Holländer, Dänen und Norweger ihre Butter fast vollständig exportieren und statt dessen Margarine essen!

Für die Zukunft ist zu erwarten, daß die Margarine ihre Positionen nach Menge und Qualität noch ausbauen wird. Aber die Chemie bietet auch die Möglichkeit für eine echte quantitative Verkleinerung der Fettlücke. Die Synthese von Kunstfett ist praktikabel, indem man synthetisches Glycerin (z. B. aus Propylen oder durch Glyzerin-gärung hergestellt) und synthetische Fettsäuren (durch Paraffinoxydation, Oxosynthese aus Olefinen oder Poly-alsynthese aus Azetylen entstanden) miteinander vereinigt. Der Prozeß sollte in der Zukunft auch wirtschaftlich akzeptabel gestaltet werden können. Jedoch ist der ökonomische Anreiz für die entwickelten Länder, die derzeit allein zur Lösung dieser Aufgabe in der Lage wären, im Augenblick noch relativ gering.

Eine weitere Möglichkeit für die zusätzliche Fetterzeugung eröffnen biochemische Pro-

Zellulosepulver eröffnen neue Möglichkeiten zur Herstellung energieärmer Nahrungsmittel, wenn die lebensmittelhygienischen Untersuchungen positiv ausfallen. Hier werden Quellungsuntersuchungen an neu entwickelten mikrokristallinen Zellulosepulvern durchgeführt.



zesse. Mit Hilfe von submers¹ wachsenden Fadenpilzen (z. B. *Fusarium*arten) oder speziellen Heferassen der Gattung *Rhodotorula* kann man aus 100 kg Abfallzucker etwa 40 bis 50 kg Hefe erhalten, die zur Hälfte aus Fett besteht. Das Verfahren könnte auch für die Gewinnung von schwer zugänglichen Lipoiden und Sterinen interessant werden. Allerdings gibt es bisher noch keine ökonomische Lösung für diesen Prozeß. Dennoch werden die Biochemiker auch auf diesem Gebiete noch manch erstaunlichen Fortschritt zuwege bringen. Aber wird das auch gelten für Spekulationen wie

Nahrungsmittel in Pillenform?

Immer wieder spukt in mehr oder weniger phantastischen Darstellungen der Gedanke, daß die Chemie den Menschen eines Tages gut verdauliche Nahrungsmittel in so konzentrierter und dabei natürlich auch geschmacklich vollkommener Form zur Verfügung stellen könnte, daß man zumindest teilweise auf die herkömmlichen Nahrungsmittel wird verzichten können. Es ist die Leistungsfähigkeit der modernen Chemie, die derartige Gedanken aufkommen läßt, und im Grunde genommen ist es eine schmeichelhafte Anerkennung für die Chemiker, deren vereinten Kräften man im buchstäblichen Sinne des Wortes beinahe alles zutraut.

Wollte man indes die für einen Mann bei leichter körperlicher Arbeit erforderlichen 2,8kWh ausschließlich in Form der konzentriertesten Nahrungsenergiequelle (nämlich als Fett mit 10,8Wh Energieinhalt pro g) zuführen, dann würde man dazu über 250 g brauchen – und die kann man schwerlich in Pillen unterbringen, zumal wir auch noch Eiweiß und Kohlenhydrate benötigen. In gewisser Weise könnte die heute gebräuchliche Astronautenkost, in der verschiedene Aminosäuren, wasser- und fettlösliche Vitamine, Kohlenhydrate, Fette und Salze miteinander kombiniert sind, als ein Schritt in diese Richtung angesehen werden.

¹ Submers: Die Pilze wachsen nicht nur an der Oberfläche des Nährsubstrates, sondern in der gesamten intensiv belüfteten Nährlösung.

Aber in der Pillenidee steckt noch ein anderer Gedanke, nämlich der, dem Körper die Nahrung nicht nur in äußerst konzentrierter, sondern auch in direkt verwertbarer Form zuzuführen. Tatsächlich ist nicht recht einzusehen, warum wir immer nur Kohlenhydrate essen sollen, wenn die Kohlenhydrate doch erst vom Körper in Brenztraubensäure umgewandelt werden müssen, die allein im Stoffwechsel weiterverarbeitet werden kann. Ebenso wenig leuchtet es ein, daß wir für alle Zeiten einen verzweiferten Kampf um die Herstellung komplizierter Eiweißstoffe führen sollen, wenn diese vom Körper ohnehin zu einfachen Aminosäuren abgebaut werden, von denen die allereinfachste das Glyzin (Aminoessigsäure) ist. Und schließlich werden auch Fette nicht eher vom Körper aufgenommen, als bis sie durch die Verdauungssäfte in Glycerin und Fettsäuren zerlegt worden sind, wobei Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel noch über einen gemeinsamen Knotenpunkt (Azetylkoenzym A) miteinander in Verbindung stehen.

Daraus könnte man eigentlich den folgenden Auftrag an die Chemiker ableiten: Konzentriert euch auf die Synthese von Brenztraubensäure und Glyzin, mischt diese Produkte mit geringen Mengen essentieller Fett- und Aminosäuren, Vitaminen, Mineralien und Geschmacksstoffen aus der Retorte und zaubert auf diese Weise bekömmliche Nahrungskonzentrate, die uns zu einem guten Teil vom Acker unabhängig machen!

Bei näherer Betrachtung zeigt es sich, daß knapp 1 kg eines Gemisches aus Glyzin und brenztraubensaurem Natrium den Energiebedarf eines Schwerarbeiters (3,5kWh/Tag) decken würde. Mehr Energieäquivalente lassen sich auf die Gewichtseinheit eines solchen Nahrungskonzentrats beim besten Willen nicht vereinigen, und damit sind auch schon die Grenzen einer derartigen Verpflegungsvariante aufgezeigt. Dieses Kilogramm will nämlich erst einmal verspeist werden! Allein schon deswegen können solche Entwicklungen nur für spezielle Zwecke von Interesse sein. Synthetische Nahrung in dem eingangs besprochenen Sinne wird deshalb (und auch aus physiologischen Gründen) wohl immer nur Science-Fiction bleiben!

Wer den Arzt ruft, braucht auch den Chemiker!

Noch mehr Tabletten im Jahre 2000?

Heilmittel gegen wirkliche und eingebildete Krankheiten aller Art benutzt der Mensch wohl schon so lange, wie er existiert. Das Blut eines bei Neumond um Mitternacht geschlachteten Katers und der durch den Zauberspruch des Medizinsmanns geheiligte Urin alter Männer schienen unseren Urgroßvorfahren zur Behandlung ihrer Beschwerden genauso unentbehrlich wie den Menschen des 20. Jahrhunderts das furchteinflößende Arsenal einer modernen Apotheke. Dabei soll nicht verkannt werden, daß insbesondere die Hochkulturen der Chinesen, Inder, Ägypter und Griechen bereits über eine beachtliche Palette wirksamer Heilstoffe aus dem Pflanzen- und Tierreich verfügten. Insgesamt waren jedoch die Fortschritte über Jahrtausende hinweg nur gering. Die erste offizielle Urkunde, in der für die ärztliche Tätigkeit im engeren Sinne und die Zubereitung von Arzneimitteln zwei verschiedene Personen vorgesehen werden, stammt aus dem Jahre 1235 und ist von Friedrich II. ausgefertigt. Damit war zwar offiziell der Apotheker vom Arzt getrennt worden, aber die Verbindung zwischen Medizin und vorwissenschaftlicher Chemie blieb auch im Mittelalter noch sehr eng. Viele chemische Entdeckungen wurden daher in den Apotheken gemacht.

Trotzdem verharrte die Arzneimittellehre lange Zeit in tiefer Empirie, die oft sogar von einem kräftigen Schuß Mystik verdunkelt wurde. Als jedoch die organische Chemie einen gewissen Vorlauf gewonnen hatte,

machte sie in Forschung und Produktion etwa seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts um so schnellere Fortschritte. Mehr als 95% aller Arzneimittel der letzten 100 Jahre stammen aus den Forschungslaboratorien der Chemiker, und ohne jede Übertreibung darf man heute sagen, daß die überzeugenden Erfolge der Medizin ohne die Anwendung einer Legion pharmazeutischer Produkte nicht im entferntesten möglich gewesen wären. Der Nutzeffekt ärztlicher Tätigkeit wird in den entwickelten Ländern zu mindestens 70% durch Arzneimittel bestimmt. Ob gegen Kopfschmerzen, Stuhlbeschwerden oder Lungenentzündung, ob gegen Heiserkeit, Typhus oder Malaria – immer stehen dem Mediziner wirksame Waffen in Gestalt mannigfacher und preiswerter Chemikalien zur Verfügung. Mit ihrer Hilfe sind die Seuchen in der Welt weitgehend zurückgedrängt worden, und zahlreiche bakterielle Infektionen haben ihre Schrecken verloren. Beispielsweise sank die Typhussterblichkeit bei Kindern seit Einführung der Antibiotika von 50% auf 2%, und die Tuberkulosesterblichkeit konnte in den letzten 30 Jahren um 80% vermindert werden. Auch die Aufklärung der Vitaminmangelkrankheiten gehört zu den Höchstleistungen chemischer Forschung und wurde mehrfach mit Nobelpreisen honoriert.

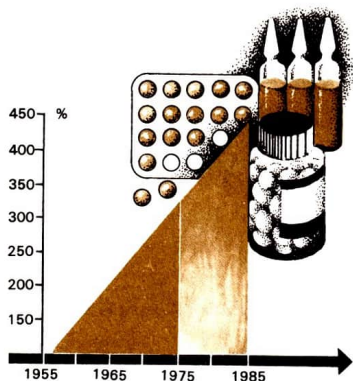
Alle diese bewundernswerten Leistungen der mit Biologie und Medizin verbündeten Chemie sind im Verlaufe der vergangenen Jahrzehnte so stark ins Bewußtsein der Menschen eingedrungen, daß die Tablette nachgerade zu einem Symbol für sichere Hilfe bei allen möglichen Beschwerden geworden ist. Umfragen in einigen Ländern haben ergeben, daß mehr als 50% der Bürger am Thema Arzneimittel ein überdurchschnittliches Interesse haben. Ein weiteres Drittel zeigte sich interessiert, und nur wenige Menschen wurden angetroffen, die das medikamentgewordene Können der Chemiker völlig kalt ließ. Bei vielen vermag allein schon das vom Arzt mit unleserlichen und ehrfurchteinflößenden Kritzeleien versehene Rezept wahre Wunder zu bewirken. Und manche Bürger sind nicht nur beleidigt, wenn sie vom Doktor ohne einen solchen »Zauberschein« entlassen werden, sondern oft auch ehrlich beunruhigt. Was soll auch

schon bei einer ärztlichen Behandlung ohne Medikamente herauskommen?! In diesem Zusammenhang sind die Versuche mit Placebos, das sind Präparate ohne pharmakologische Wirkung, erwähnenswert. So konnten von 4000 Patienten mit Kopfschmerzen über die Hälfte mit Tabletten geheilt werden, die nach Meinung der Versuchspersonen ein hochwirksames Präparat, in Wirklichkeit aber nur Milchsüßholz enthielten, wobei übrigens Kluge und Dumme gleich reagierten.

Große Vielfalt und billige Massenproduktion — das ist die Basis, auf der sich in den letzten beiden Jahrzehnten ein gewaltiger Arzneimittelkonsum entwickeln konnte. Heute liegt der Medikamentenanteil an der gesamten chemischen Produktion im Weltmaßstab etwa um 12%. Der Zuwachs ist größer als bei der Chemieproduktion insgesamt. Im Jahre 1960 betrug der durchschnittliche Arzneimittelverbrauch aller Erdenbürger etwa 3 Rubel pro Kopf, 1968 waren 4,5 Rubel und 1971 5,5 Rubel erreicht. Für das Jahr 1980 erwartet man, daß der Verbrauch auf ungefähr 8,5 Rubel anwachsen wird.

Wegen des direkten Zusammenhanges mit dem Wohlbefinden vieler Menschen spielen die Arzneimittel auch im Handel eine besondere Rolle. Wer auch wollte sich schon entblößen, eine Kleinverbraucherpackung Natriumnoraminophenazonsulfonat zur Vertreibung lästiger Kopfschmerzen mit einem gewöhnlichen Stück Camembert auf eine Stufe zu stellen, obschon letzterer viel besser schmeckt und obendrein sogar noch etwas billiger ist? Die Ausnahmestellung der Arzneimittel unter allen Waren liegt also auf der Hand. Wer aber glaubt, daß dies für einen kapitalistischen Konzernchef Grund genug sein könnte, das Medikament aus seinen Profitüberlegungen auszuklammern, ist mehr als naiv. Genau das Gegenteil ist richtig. Deshalb wird man in den kapitalistischen Ländern damit rechnen müssen, daß das Streben von Ärzten und Bevölkerung nach besseren und billigeren Arzneimitteln und der von den Chemie- und Pharmaziekonzernen ausgeübte Druck auf Preise und Gewinne künftig noch schärfer miteinander in Konflikt geraten werden.

Alle hochwirksamen Medikamente bergen Gefahren in sich, die oft erst nach langwierigen



Relative Steigerung des Arzneimittelumsatzes in der DDR auf Basis vergleichbarer Preise seit 1957 mit Prognoseversuch.

gen und kostenaufwendigen Prüfungen zuverlässig vorausgesagt werden können. Die daraus resultierende Forderung nach einer strengen Kontrolle führt unweigerlich zu einem frontalen Zusammenprall mit den profitbestimmten Interessen des kapitalistischen Arzneimittelherstellers. Wie katastrophal sich derartige Widersprüche auswirken können, hat vor wenigen Jahren die Conterganaffäre in einigen westeuropäischen Ländern gezeigt. Die Einnahme des als harmlos ausgewiesenen Schlafmittels Contergan durch werdende Mütter führte in zahlreichen Fällen den Tod oder schwere Gliedmaßenverstümmelungen bei Neugeborenen herbei.

In der DDR werden Herstellung und Vertrieb von Medikamenten durch einen Zentralen Gutachterausschuß überwacht, der sich wahrlich nicht über Langeweile beklagen kann. 1975 standen bei uns nicht weniger als etwa 1600 Humanarzneimittel, 400 Veterinararzneimittel, über 1000 Gesundheitspflegemittel und 1750 Präparate zur Diagnose von Krankheiten unter Kontrolle. Jährlich werden 30 bis 50 Medikamente aus dem Arzneimittelverzeichnis herausgenommen, und ebenso viele kommen dazu. Die immer schärfer werdenden Forderungen der Gesundheitsbehörden hin-

sichtlich des wissenschaftlich begründeten Nachweises von Wirksamkeit und Unschädlichkeit neuer Arzneimittel können heute in manchen Fällen bis zu 80% der gesamten Entwicklungskosten verursachen.

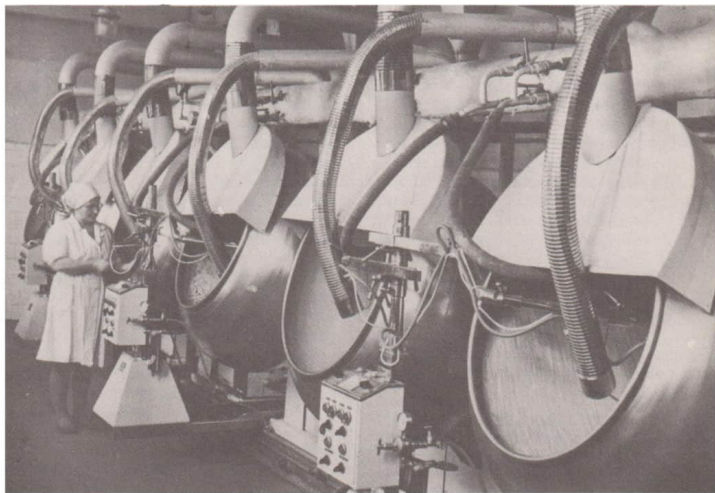
Unter allen Zweigen der Chemie ist die pharmazeutische Industrie mit am forschungsintensivsten. Die führenden internationalen Unternehmen wenden etwa 10 bis 15% ihres Umsatzes für diese Zwecke auf. Nichtsdestoweniger wachsen die für die pharmazeutische Forschung aufgewendeten Mittel im Weltmaßstab mit einer jährlichen Steigerungsrate von 8 bis 10% unablässig weiter an. Auch der zur Entwicklung neuer Wirkstoffe erforderliche Zeitaufwand, der gegenwärtig bei vier bis sieben Jahren liegt, weist eine steigende Tendenz auf.

Die führenden Pharmazieländer der Welt sind in dieser Reihenfolge USA, Japan, BRD und UdSSR. Vor dem zweiten Weltkrieg stand

Deutschland nicht nur im Absatz (40% des Welthandels), sondern auch in der Produktion an der Weltspitze. Die bedeutendsten pharmazeutischen Betriebe lagen aber im westlichen Teil des Landes. Die DDR hat deshalb in den letzten 25 Jahren eine eigene pharmazeutische Industrie aufbauen müssen, die den Inlandbedarf zur Zeit mit 95% deckt und ein Drittel ihrer Erzeugnisse in über 60 Staaten exportiert. Bis 1975 steigerte sie ihre Produktion gegenüber 1970 auf nicht weniger als 170%, wobei hochwertige Arzneimittel gegen Herz- und Kreislauferkrankungen sowie Zuckerkrankheit, Chemotherapeutika und Antibiotika gegen Infektions- und Geschwulsterkrankungen, angsthemmende und stimmungshobende Mittel sowie Präparate zur Feststellung und Differenzierung von Krankheiten im Mittelpunkt standen.

Die in den Arzneibüchern der verschiedenen Länder fixierten unterschiedlichen Qualitätsanforderungen zwingen die Exportländer, zur Befriedigung der Kundenwünsche jeweils mehrere Spezialqualitäten für ein und dasselbe Medikament zu produzieren. Diese Zer-

Leistungsfähige Dragieranlage für Pharmazeutika in einem Arzneimittelwerk in Kiew.



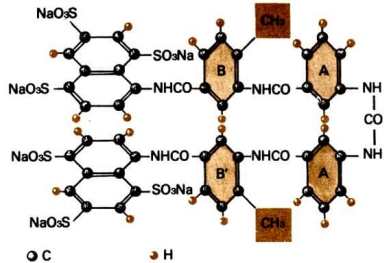
splitterung hat große Nachteile. Deshalb wird in den sozialistischen Staaten schon seit vielen Jahren großer Wert auf eine arbeitsteilige Spezialisierung und Vereinheitlichung der Produktion gelegt. Zu den wichtigsten Ergebnissen dieser Bemühungen gehört das in deutscher und russischer Sprache erscheinende Compendium Medicamentorum, ein internationales Arzneibuch der sozialistischen Länder, dessen Regelungen übrigens auch in das neueste (zweite) Arzneibuch der DDR aufgenommen worden sind. In der Zukunft werden die im Compendium festgelegten Arzneimittelparameter als verbindliche Normative für den Medikamentenaustausch zwischen den befreundeten Ländern gelten.

Arzneimittelentwicklung – hohe Schule der organischen Chemie

Mitte der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts begann jene fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Chemikern und Medizinern, die bis in die heutige Zeit beispielgebend ist. Die selektive Vernichtung krankheitserregender Organismen im lebenden Körper mit wirksamen Chemikalien wurde von Paul Ehrlich (Nobelpreis 1908) und seinen Mitarbeitern zu einer wissenschaftlich begründeten Chemotherapie¹ entwickelt, die auch künftig zu großen Hoffnungen berechtigt. In langwierigen Arbeiten wurden Moleküle aufgebaut, die gegen bestimmte Krankheitserreger wirksam sind, ohne den Wirtsorganismus zu schädigen. Das Neue an der Arbeitsweise Paul Ehrlichs war die Planmäßigkeit bei der Abwandlung der chemischen Struktur eines Moleküls unter dem Blickpunkt einer bestimmten Zielsetzung. Dieser Methodik sind die Erfolge der Arzneimittelsynthese bis auf den heutigen Tag zu danken.

Mit der Arsenverbindung Salvarsan (1905) wurde erstmals ein brauchbares Mittel zur Syphilisbekämpfung zur Verfügung gestellt, das wegen seiner ausgezeichneten Wirksam-

1 Chemotherapie: Bekämpfung von Krankheitserregern oder auch von Krebszellen im menschlichen oder tierischen Organismus mittels synthetischer oder natürlicher chemischer Verbindungen, die man als Chemotherapeutika bezeichnet.



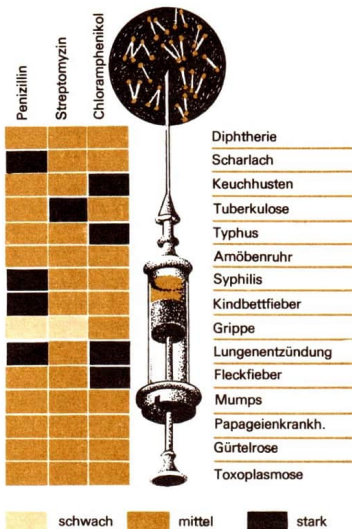
Die spezifische Wirkung wertvoller Arzneimittel ist an ganz bestimmte chemische Strukturen gebunden. Dies wird hier am Beispiel des Germanins gezeigt. Baut man z. B. die beiden rot markierten Methylgruppen in der gleichen Anordnung anstatt in die Ringe B und B' in die Ringe A und A' ein, so geht die Wirksamkeit auf den sechzigsten Teil zurück, während sich die Toxizität verdoppelt.

keit in Verbindung mit hohen Penicillindosen auch heute noch angewendet wird. Im Jahre 1920 brachte die Firma Bayer das aufsehenerregende Formelungeheuer Germanin zur wirkungsvollen Bekämpfung der afrikanischen Schlafkrankheit heraus. Eine andere gefährliche Tropenkrankheit, die Malaria, behandelte man mit der als Chinarinde bekannten Rinde von Cinchonabäumen. Sie enthält über 25 Alkaloide, von denen das Chinin und das Cinchonin therapeutisch am wirksamsten sind. Die Synthese eines adäquaten Medikaments führte 1926 nach langwierigen Versuchen zu dem noch relativ toxischen Plasmochin. Mit dem 1930 von der IG Farbenindustrie zum Patent angemeldeten Atebrin wurden diese Mängel beseitigt. Nutznießer der Entwicklung waren besonders die Amerikaner, die während des zweiten Weltkriegs die ostindischen Chininplantagen zeitweise an die Japaner verloren. Ihre sofort einsetzenden Forschungsarbeiten, bei denen nicht weniger als 14 000 Substanzen geprüft wurden, wiesen das Atebrin als ein sicheres und auch besser als Chinin wirkendes Malariamittel aus. Zur Versorgung der im malarieverseuchten pazifischen Kriegsschauplatz stationierten amerikanischen

Truppen wurde die Produktion von Synthesetebrin so rasch gesteigert, daß die des Naturprodukts bald überflügelt war. Die chemische Totalsynthese des Chinins im Jahre 1944 hatte deshalb keine unmittelbaren Auswirkungen mehr auf die Malariabekämpfung. Heute können die Malariaerreger in allen Entwicklungsstadien mit chemischen Heilmitteln wirksam getroffen werden.

Bis 1930 hatte die Chemotherapie im wesentlichen nur Erfolge bei der Bekämpfung von Protozoenkrankheiten. Mit der Entdeckung der antibakteriellen Wirksamkeit des Azofarbstoffs Prontosil durch Domagk im Jahre 1934 sowie des Abbauprodukts Sulfanilamid durch Fournau im Jahre 1935 setzte die stürmische Entwicklung der Sulfonamide ein, die sich als starke Bakteriengifte bei relativ guter Verträglichkeit bewährten. Sie wurde dadurch begünstigt, daß die Synthese dieser Verbindungen nicht patentrechtlich geschützt werden konnte, weil die Herstellung von Sulfanilamid schon seit 1908 bekannt war. Dies war einer der Gründe dafür, daß man bereits fünf Jahre nach Fournaus Entdeckung schon über 1000 Sulfonamide synthetisiert hatte, von denen nur wenige wirksam waren. Die zukünftigen Bemühungen gehen dahin, teils durch neue Synthesen, teils durch Herstellung geeigneter Mischungen die Spezifität und das Wirkungsspektrum der antibakteriell wirksamen Verbindungen systematisch zu erweitern. Selektiv wirkende Chemotherapeutika bieten überdies die Möglichkeit eines Präparatewechsels, wodurch die lästigen Resistenzerscheinungen bei verschiedenen Bakterienstämmen leichter überwunden werden können.

In ihrer antibakteriellen Wirkung mit den Sulfonamiden vergleichbar sind die Antibiotika, von denen heute das Penicillin in der Popularität fast schon mit der Spalttablette konkurrieren kann. Obwohl seine hervorragenden bakteriziden Eigenschaften bereits 1928 von Fleming erkannt worden waren, wurde die Produktion in den USA und in Großbritannien erst 1939/40, auf dem Gebiet der heutigen DDR und BRD sogar erst nach dem Kriege aufgenommen. In den letzten drei Jahrzehnten sind die Ausbeuten von 10 Einheiten auf 10 000 (!) Einheiten pro Milliliter gesteigert worden (1 Einheit $\triangleq$ 0,0000006 g Penicillin-



Antibiotika sind wirksame Mittel gegen Infektionskrankheiten.

G-Natrium). Störende Farbstoffe konnten abgetrennt werden, und die Gewinnung biosynthetischer und halbsynthetischer Penicilline mit besserer therapeutischer Wirkung ist geglückt.

Im Laufe der Jahre kamen zahlreiche weitere Antibiotika dazu. Einige der bekanntesten sind Streptomycin, Aureomycin, Terramycin und Chloramphenicol. Heute sind knapp 1600 chemisch und biologisch definierte Antibiotika bekannt, von denen nur 50 bis 60 industriell produziert werden. Auf 100 Antibiotika, die aus Strahlenpilzen gewonnen werden können, kommen 25 aus Pilzen, 14 aus Blütenpflanzen, 12 aus Bakterien, 3 aus Flechten und 1,6 aus Tieren. Wahrscheinlich werden in der Zukunft auch marine Organismen (z.B. Seeschnellen, Seewalzen und Südseeschwämme) als Quelle für antibiotisch wirkende Naturstoffe erschlossen werden. Anti-

biotika aus Algen und höheren Pflanzen eignen sich zur Zeit noch nicht für eine fermentative Produktion. Man hofft aber, antibiotisch wirksame chemische Strukturen zu finden, die dann als Vorbilder für die chemische Synthese neuartiger Heilmittel dienen können.

Gegenwärtig werden in der Welt schon über 10 000 t Antibiotika hergestellt, und die Produktion ist weiterhin schnell im Wachsen begriffen. Das mit bestem Erfolg gegen Typhus, Fleckfieber und Gehirnhautentzündung eingesetzte Breitbandantibiotikum Chloramphenicol ist jedoch bis heute das einzige Antibiotikum, dessen Totalsynthese billiger ist als die biochemische Produktion, obwohl auch für zahlreiche andere Antibiotika Synthesewege bekannt geworden sind. Die totalsynthetische Imitation biosynthetischer Verfahren der Zelle wird jedoch in den nächsten Jahren schnelle Fortschritte machen.

Während die bisherigen Leistungssteigerungen in der Antibiotikaerzeugung im wesentlichen das Ergebnis empirischer Arbeiten waren, eröffnen sich jetzt auch Möglichkeiten für gezielte Eingriffe. So wird man immer mehr den Stoffwechsel der produzierenden Organismen mit Hilfe von Präkursoren beeinflussen. Dabei handelt es sich um Verbindungen, deren chemische Struktur in wesentlichen Teilen mit derjenigen des betreffenden Wirkstoffmoleküls identisch ist. Die Präkursormoleküle können deshalb entweder sofort als vorgefertigte Bausteine oder auch nach einer einfachen biologischen Umformung in das aufzubauende Antibiotikummolekül eingepaßt werden. Bei Partialsynthesen (z. B. von Steroiden) wird man die Organismen zunehmend durch isolierte Fermente ersetzen.

Nachdem im Laufe der vergangenen Jahrzehnte Tausende von chemischen Verbindungen synthetisiert und auf ihre biologische Wirksamkeit untersucht worden sind, müssen wir heute die betrübliche Feststellung machen, daß wir noch immer nicht in der Lage sind, allgemeingültige Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen chemischer Struktur und pharmazeutischer Wirkung zu formulieren. Die Situation auf diesem Gebiet entspricht etwa der in der anorganischen Chemie vor der Entdeckung des Periodensystems der Elemente. Betreten stehen wir vor einem

riesigen Berg von Tatsachen, der einer ordnenden Sichtung und theoretischen Durchdringung harrt. Hoffnungsvolle Ansätze für eine solche Auswertung liegen allerdings bereits vor. So ist ein EDV-Programm entwickelt worden, das die Voraussage ermöglicht, welche neuen Strukturen in der Arzneimittelforschung besonders wirksam sein könnten. Bei Recherchen werden Formeln ausgedruckt, wodurch die relevanten Formen sofort überschaubar sind.

Neuerdings zeigt sich jedoch immer deutlicher, daß eine aussichtsreiche Arzneimittelsynthese auf der Basis klassischer Formelbilder nur noch in beschränktem Umfange möglich ist, weil die biologische Wirkung einer Verbindung nicht allein mit der Strukturformel erfaßt werden kann. Man darf deshalb für die Zukunft einen großen Einfluß stereochemischer Erkenntnisse auf die Wirkstoffsynthese voraussagen. Wahrscheinlich wird auch die genauere Erfassung der Ladungsverteilung im Molekül sehr wichtig werden. Etwa bis 1985 werden sich die Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen chemischer Struktur und biologischer Wirkung soweit verdichten, daß im darauffolgenden Jahrzehnt mit Hilfe der EDV allgemeine Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden können. Daraus darf man schlußfolgern, daß in den 90er Jahren ein systematischer chemischer Aufbau von »maßgeschneiderten« Arzneimitteln nach struktur-, stereo- und elektrochemischen Bauplänen einsetzen wird. Dabei geht es unter anderem darum, eine größere Spezifität herauszuarbeiten, unerwünschte Eigenschaften und Nebenwirkungen zu beseitigen, die Toxizität zu vermindern sowie die Haltbarkeit zu verbessern und günstigere Formen der Verabreichung zu ermitteln. Das größte Entwicklungstempo ist in abfallender Reihenfolge bei den nachstehend aufgeführten Präparatgruppen zu erwarten: angsthemmende bzw. stimmungshemmende Mittel, erregungsdämpfende Substanzen (Tranquillizer), bakterienhemmende Mittel, Schmerzlinderer, Krebshemmer, entzündungshemmende Mittel, antirheumatische Substanzen, auf die Herzkranzgefäße wirkende Stoffe, blutdrucksenkende Chemikalien und krampflösende Stoffe.

Weltmarktfähige Arzneimittel der Zukunft

müssen auch eine biokinetisch eingestellte Wirksamkeit besitzen, d. h., die Steuerung von Wirkungsgeschwindigkeit und Wirkungsart muß möglich sein. 1956 wurden in den USA mit den sogenannten »Spansules« die ersten durch den Mund zu verabreichenden Arzneiformen mit verlängerter Wirkung patentiert. Sie leiteten ein neues Kapitel der modernen Arzneimittelzubereitung ein, nämlich die Entwicklung von Depotarzneiformen. Das Ziel dieser Bemühungen ist es, die Wirkstoffkonzentration im Körper durch verzögerte Freigabe und Resorption über längere Zeit aufrechtzuerhalten. Dies kann (wie etwa bei den Spansules) durch Vereinigung einer Anzahl von Wirkstoffkügelchen mit unterschiedlich dicken Umhüllungen in einer Tablette oder auch durch chemische Veränderungen am Wirkstoffmolekül (z. B. durch Veresterung bei Steroiden oder durch Komplexbildung mit Hochpolymeren) erreicht werden. Außerdem ist eine Beeinflussung durch die Trägerstoffe, durch die Partikelgröße des Arzneimittels sowie durch physiologische und technische Maßnahmen möglich.

Für alle diejenigen Bürger, die nur sehr ungern Arzneimittel schlucken, können wir tröstend hinzufügen, daß sich die Chemiker künftig verstärkt auch um die Entwicklung solcher Medikamente bemühen wollen, die eine lebensmittelnähe Aufnahme ermöglichen werden.

Vielleicht von noch größerem Interesse als die allgemeinen Gesichtspunkte der Arzneimittelforschung sind einige wichtige

Chemotherapeutische Zukunftsaspekte

Ohne jeden Zweifel war die medizinische Chemie bei der Bekämpfung von Infektionskrankheiten sehr erfolgreich. Wer aber deswegen glaubt, daß die große Schar der Krankheitserreger schon fast vollständig beherrscht wird, täuscht sich insbesondere deshalb, weil namentlich die Chemotherapie der Viruskrankheiten noch ganz »in den Kinderschuhen« steckt. Außerdem konfrontieren uns die laufenden genetischen Veränderungen der Mikroorganismen und Viren ständig mit neuen Krankheitsbildern. So entwickelt z. B. der für alle nennenswerten Grippeerkrankun-

gen verantwortliche Myxovirus influenza A immer wieder neue krankheitsauslösende Subvarianten, die sich jeweils nach neun bis zehn Jahren zu gefährlichen Subtypen herausbilden. Die Chemo- und Immunotherapie¹ der Infektionskrankheiten wird deshalb auch in den nächsten Jahrzehnten intensiv bearbeitet werden müssen.

Das geringe Angebot an Substanzen, die das Wachstum der Viren hemmen, hat in der letzten Zeit keine wesentlichen Ergänzungen erfahren. Noch immer gibt es nur Anfänge einer Virustherapie mit Joddesoxyuridin, mit Adamantamin und Methylisatin- β -thiosemicarbazon bei der Behandlung viraler Bläschenausschläge (z. B. Gürtelrosen) sowie von Grippe- und Pockeninfektionen. Man erwartet jedoch, daß es etwa in der ersten Hälfte der 80er Jahre möglich sein wird, die Virusvermehrung in der Zelle experimentell zu beeinflussen. So bildet sich in den Zellen vieler Säugetiere bei Virusinfektionen ein geheimnisumwitterter Stoff namens Interferon, der über die Blutbahn auch mit den gesunden Zellen in Kontakt kommt und sie dadurch vor einer Infektion nicht nur mit Viren, sondern auch mit Bakterien und Protozoen schützt. Seine Struktur ist im einzelnen noch unbekannt. Wahrscheinlich handelt es sich um ein niedermolekulares Protein, das mit Kohlenhydrat verbunden ist. Es leuchtet ein, daß die gezielte Auslösung einer Interferonbildung im Körper mit Hilfe dafür geeigneter niedermolekularer Induktoren (von denen 1970 der erste synthetisiert wurde) oder auch die unmittelbare Anwendung von Interferon von großem praktischem Interesse werden könnte.

Mit einer überdurchschnittlich steigenden Tendenz rechnet man bei den rheumatischen und degenerativen Erkrankungen. Diese Krankheiten sind ihrem Wesen nach sehr uneinheitlich. Während das rheumatische Fieber als die akute Form des entzündlichen Rheumatismus durch eine bestimmte Streptokokkenart hervorgerufen wird und

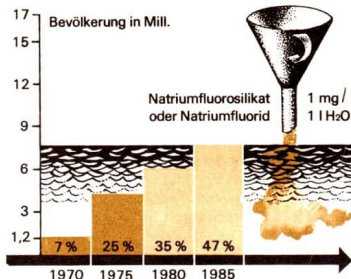
¹ Immunotherapie: Behandlungsweise von Infektionskrankheiten und Toxinvergiftungen, bei der spezifische Mittel (z. B. Impfungen mit Heilseren) angewandt werden, um eine künstliche Immunität herzustellen.

deshalb mit Penicillin, später auch mit Streptokokkenschutzimpfungen, zuverlässig bekämpft werden kann, sind die Krankheitsursachen beim chronischen Gelenkrheumatismus im einzelnen noch unbekannt. Hier können deshalb vorläufig nur Symptome behandelt werden. Für diesen Zweck werden entzündungshemmende und schmerzlindernde Rheumamittel (z.B. das Predniston) eingesetzt. Die Klärung der Ursachen des chronischen Gelenkrheumatismus nach 1980 wird im Zusammenhang mit neuen Erkenntnissen über die Wirkungsmechanismen von Hormonen der Nebennierenrinde und der entzündungshemmenden Mittel zur Entwicklung spezifisch wirkender Antirheumatika führen. Einen Rückgang der rheumabedingten Herzklappenfehler erwartet man aber erst zwischen 1995 und 2000.

Zunehmende Bedeutung werden in den nächsten Jahrzehnten auch die Stoffwechselerkrankungen gewinnen. An dieser Stelle sei nur an die seit Jahrzehnten steigende Tendenz der Diabeteserkrankungen erinnert. So gab es 1970 in der DDR 320 000 Kranke, aber 1980 werden bereits 530 000 erwartet! Die Weltproduktion von Kristallinsulin aus Tierkörpern dürfte heute schon einige Tonnen pro Jahr betragen. Sie wird sich entsprechend dem wachsenden Bedarf langsam weiter erhöhen und in absehbarer Zeit durch Syntheseinsulin ergänzt werden. Außerdem erwartet man, daß in den 80er Jahren neue synthetische oder halbsynthetische Diätstoffe verfügbar sein werden, mit denen man die Auswirkungen bestimmter Enzymdefekte zu mildern hofft. Etwa um die Jahrtausendwende werden die Voraussetzungen geschaffen sein, um auch die Ursachen der Diabeteserkrankung wirksam bekämpfen zu können.

In den 80er Jahren darf der Beginn einer gezielten Chemotherapie von Geschwüren im Verdauungstrakt erwartet werden. Die starke Hemmwirkung der als Kinine bezeichneten Enzyme wird neue therapeutische Möglichkeiten zur Bekämpfung von Entzündungen eröffnen.

Da bisher trotz intensivster Propaganda in den industriell fortgeschrittenen Ländern nur eine geringe Neigung zu erkennen ist, von der liebgeordneten kalorienreichen Nahrung abzurücken, andererseits aber bewegungs-



Stufenprogramm der Trinkwasserfluoridierung in der DDR. Obwohl der Zahnschmelz das härteste Gewebe ist, das der Organismus bildet, wird er angelöst und zerstört, sofern nicht während der Entwicklungsperiode das Element Fluor in optimalen Mengen aufgenommen werden kann. Die seit 1959 in Karl-Marx-Stadt durchgeführten Großversuche beweisen, daß die Anreicherung des Trinkwassers mit Fluoriden zu einer radikalen Verringerung des Kariesbefalls führt. Bis 1985 soll deshalb die Hälfte des in der DDR verbrauchten Trinkwassers »fluoridiert« werden.

arme Tätigkeiten immer mehr zunehmen werden, müssen sich die Experten auch in bezug auf die Fettsucht etwas Neues einfallen lassen. Bis in die Mitte der 80er Jahre wollen sie das Übel mit wirksamen Mitteln beherrschen lernen. Die Biochemiker maßen sich sogar an, die Fettabsorption aus dem Darm selektiv bremsen bzw. steuern zu wollen! Damit gehen die Liebhaber kulinarischer Genüsse rosigen Zeiten entgegen. Bald werden sie den ständigen Ermahnungen der Ernährungsfachleute ebenso entronnen sein wie der unbequemen Last ihrer Speckfalten und dabei dennoch nach Herzenslust »schmausen« können. Mit ein paar lächerlichen Tabletten werden sie selbst bestimmen, wieviel von den wohlschmeckenden Kalorieträgern aufgenommen werden sollen und was ungehindert passieren darf. Hoch lebe die Chemie!

Viele unserer Mitbürger werden von höchst unangenehmen Leber- und Gallenerkrankungen geplagt, während andere unter langwierigen Magen- und Darmbeschwerden zu leiden haben. Sollten die Biochemiker nicht auch

auf diesem Gebiet helfen können? Die Fachleute sind optimistisch. Jedenfalls sagen sie bereits für das Jahr 1980 eine effektive Therapie der Leber voraus. Zugleich mit der in den 80er Jahren erwarteten Aufklärung der Gallensteinbildung sollen Substanzen entwickelt werden, die Gallen- und Nierensteine aufzulösen vermögen. Also werden die Chemiker bald auch hier den Medizinern das Messer aus der Hand schlagen!

Zu den in den fortgeschrittenen Ländern am meisten verbreiteten Leiden gehören die Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Hütet euch, denn das Gespenst des Herzinfarktes geht um! Die Ursachen dieser Erscheinung liegen in der zunehmenden Bewegungsarmut, im Mißbrauch von Genußmitteln, insbesondere Alkohol und Tabak, in einer unzureichenden Ernährung und in der unproduktiven Hektik und nervösen Überlastung des Organismus im Alltag.

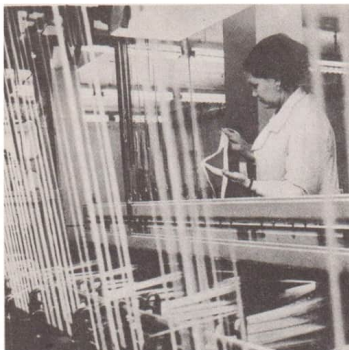
Schon aus dieser Aufzählung folgt, daß man vom Biochemiker so bald keine Wunderpille gegen Herzleiden erwarten darf. Liegt es nicht viel näher, zuerst die Ursachen des Übels abzustellen? Dazu braucht man weder viel Zeit noch große Investitionen. Aber es ist das Einfache, das schwer zu machen ist! Und doch vermögen auch die Chemiker und Mediziner in den kommenden Jahrzehnten noch einiges zu tun. Die organische Ursache sehr vieler Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist nämlich eine Verkalkung der Blutgefäße infolge einer Störung des Cholesterinstoffwechsels. Das Cholesterin lagert sich dabei in den Wänden der Arterien ab. Sollte es in den nächsten Jahren gelingen, Stoffe zu finden und herzustellen, mit denen man die Biosynthese des Cholesterins regulieren könnte, dann wäre damit der erste Schritt zu einer kausalen Therapie der Arteriosklerose getan. Im letzten Fünftel unseres Jahrhunderts jedenfalls wollen uns die Chemiker Arzneimittel zur Verfügung stellen, die den Prozeß der Arteriosklerose verlangsamen, stoppen oder sogar umkehren können. Zwischen 1981 und 1990 werden Stoffe nutzbar sein, mit denen die nach einem Verschuß der Herzkranzgefäße auftretenden Schäden minimiert werden können. Etwa für diese Zeit wird auch mit der Entwicklung von Substanzen gerechnet, die die Elastizität von Muskelfasern im



Herstellung von Adenosintriphosphat zur Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen in Iwanowo. In der DDR ist das Präparat unter dem Namen Fosfobion (Import aus Bulgarien) bekannt.

Gefäßsystem und im Lungengewebe erhalten sollen. Vorbeugend wirkende chemische Stoffe gegen Herzattacken werden aber erst nach 1990 bereitstehen.

Zur Anregung geschädigter Herzmuskel verwendet man Herzglykoside. Die partialsynthetische Abwandlung dieser Mittel wird in der Zukunft zu Präparaten mit optimaler Wirkung führen. Im Zeitraum bis 1986 werden Stoffe erwartet, die eine Verhütung oder Behandlung von Wasseransammlungen in den Geweben (sogenannter Ödeme) gestatten sollen. Es ist weiterhin anzunehmen, daß die Ursachen der häufigen Bluthochdruckerkrankungen bis Anfang der 80er Jahre exakter geklärt und diagnostisch differenziert werden können. Dadurch kann es möglich werden, die für den Bluthochdruck und die Herzleistung verantwortlichen Steuersysteme mit



Moderne Plastwerkstoffe ermöglichen die industriemäßige Herstellung künstlicher Adern, hier im Leningrader Textilkombinat »Sewer«.

neuen Arzneimitteln wirksam zu beeinflussen.

Die Verhütung von Blutgerinnseln (Thromben) in den Venen wird eine Senkung der Sterblichkeit nach Herzinfarkten zur Folge haben. Unter den Stoffen, die Thromben auflösen können, beansprucht neuerdings das aus Filtraten gewisser Streptokokkenstämme gewonnene Enzym Streptokinase Interesse.

Tabelle 13. Auswahl von Einsatzmöglichkeiten für Kunststoffe im menschlichen Körper

Arterien, Augapfel
 Bandscheibe, Blut, Blutdruckregulator, Brust
 Eileiter, Ellbogengelenk, Ellenkopf
 Fingergelenk
 Harnblase, Harnleiter, Haut, Herz, Herzklappen,
 Hornhaut, Hüftgelenk
 Innenohr
 Kinn, Kinnbacken, Kniegelenk, Knochen,
 Knochenplatten
 Leber, Luftröhre, Lunge
 Mondbein
 Nasenknorpel, Niere, Nervenummhüllung
 Ohrknorpel
 Schädeldecke, Schultergelenk, Sehnen
 Zehe

Seine chemische Struktur ist noch nicht aufgeklärt. Es eignet sich zwar besonders zur Therapie frischer Thromben, kann aber auch maximal vier Tage alte Blutgerinnsel auflösen. Man hofft, schon um 1980 Chemikalien zu besitzen, die bei der Behandlung älterer Thromben noch bessere Ergebnisse zeitigen werden.

Als die »hellsten Sterne am pharmazeutischen Firmament der Gegenwart« bezeichnete 1970 der englische »New Scientist« die Prostaglandine. Diese Stoffe sind allgemeiner Bestandteil von Säugetiergeweben und werden heute den Hormonen zugeschrieben. Sie stehen in einigen Ländern für die Herzinfarktprophylaxe und außerdem zur Therapie von Magengeschwüren und zur Geburtseinleitung vor einer breiten klinischen Anwendung, die durch zahlreiche gelungene Teil- und Total-synthesen gefördert wird. Das sprunghaft angewachsene Interesse an diesen Substanzen verdeutlicht die Zahl der jährlichen Veröffentlichungen, die von nur 5 im Jahre 1961 inzwischen auf ungefähr 500 angestiegen ist.

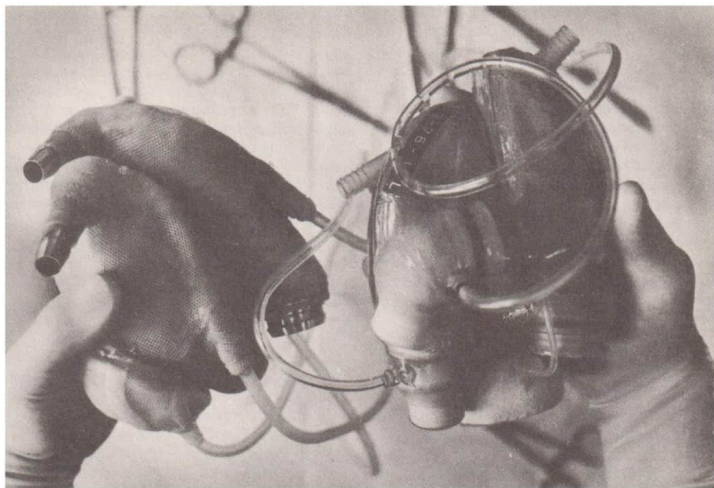
Abschließend soll darauf hingewiesen werden, daß die Chemie auch dem Chirurgen immer mehr neuartige Hilfsmittel (z.B. in Gestalt arbeitssparender Kleber zum Verschließen von Wunden sowie zahlreicher Ersatzorgane aus Kunststoffen) zur Verfügung stellen wird.

Die Bekämpfung des gefüchteten Krebses aber steckt trotz großer Aufwendungen auch heute noch in den Anfängen. Gerade deshalb soll hier die Frage gestellt werden:

Kann die Chemie den Krebs besiegen?

Dauerhafte Heilerfolge werden gegenwärtig erst in etwa 35% aller auftretenden Krebsfälle erzielt, und die Zahl der Menschen, die an Krebs sterben, nimmt laufend zu. 1922 waren es 6,5%, 1938 15% und 1969 21,2% aller Todesfälle. Wenn nicht bald wesentliche Fortschritte in der Krebsbehandlung gemacht werden, dann wird um die Jahrtausendwende jeder vierte Todesfall auf Krebs zurückzuführen sein!

Wir wissen heute, daß Krebs weder vererbt noch durch Substanzen, die im Körper selbst



Künstliche Herzen aus Gummi- und Plastwerkstoffen gehören zu den Ergebnissen gemeinsamer Entwicklungsarbeiten von sowjetischen und amerikanischen Forschern.

erzeugt werden, verursacht wird. Vielmehr entsteht der Krebs nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnisse in erster Linie durch Einwirkungen unserer Umwelt. Neuerdings wird angenommen, daß der Ausbruch dieser Krankheit mit Defekten im immunologischen System zusammenhängt. Danach beginnt die potentielle Krebszelle erst zu wachsen, wenn die Abwehrkräfte des Körpers etwa durch Alterserscheinungen oder durch eine künstliche Unterdrückung der Immunitätsmechanismen geschwächt worden sind. In dieser Phase setzt meist erst die Therapie ein, und zwar in der Regel »mit Stahl und Strahl«, wie die Mediziner sagen. Es liegt in der Natur dieser bislang noch führenden Behandlungsmethoden, daß ein dauerhafter Erfolg nur erzielt werden kann, solange die Geschwulstbildung lokalisiert ist. Haben sich dagegen

bereits Tochtergeschwülste, sogenannte Metastasen, in entfernten Organen gebildet oder handelt es sich um Tumorformen, die von vornherein im ganzen Körper verbreitet sind (Beispiel: Leukämie = Erkrankung der Gewebe, in denen die weißen Blutkörperchen gebildet werden), dann können weder Messer noch Kobaltkanone mehr helfen.

In dieser Situation blickt die Menschheit erwartungsvoll auf die Chemie, denn mit Hilfe geeigneter Chemikalien könnte eine durchgängige Beeinflussung der Tumorzellen unabhängig von ihrer Lokalisierung im Körper erreicht werden. Die Chemotherapie des Krebses ist aber im Gegensatz zur »chemischen Behandlung« bakterieller Infektionen den Kinderschuhen noch längst nicht entwachsen. Mikroorganismen haben einen Stoffwechsel, der sich deutlich von dem der Körperzellen unterscheidet. Damit bieten sie einen Ansatzpunkt für die Störung ihrer Lebensprozesse mit selektiv wirkenden Medikamenten. Demgegenüber sind bei den Krebszellen, die ja aus körpereigenen Zellen entstanden sind, bisher nur minimale biochemi-

sche Besonderheiten gefunden worden. So konnten die Biochemiker für die Entwicklung geeigneter krebshemmender Stoffe (Zytostatika) bislang fast nur den Umstand nutzen, daß die Geschwindigkeit der Zellteilung in der Krebsgeschwulst ungleich größer ist als im normalen Gewebe. Solche in Teilung begriffenen Zellen werden von bestimmten Chemikalien sehr leicht geschädigt. Aber auch das Knochenmark (Blutneubildung), die Darmschleimhaut und die Keimdrüsen sind Gewebearten, die sich im Vergleich zu den »normalen« Körperzellen mit einer überdurchschnittlichen Geschwindigkeit teilen. Krebsbekämpfung mit Zelltoxischen schädigt deshalb zugleich auch diese empfindlichen Körperzellen.

Unter Tausenden von Verbindungen, die seit dem Ende des zweiten Weltkrieges auf ihre krebshemmende (zytostatische) Wirkung untersucht worden sind, konnte bisher nur eine relativ kleine Anzahl von Präparaten für die Praxis ausgewählt werden. Es handelt sich dabei besonders um alkylierende Substanzen¹, Antibiotika, Hormone, Antimetaboliten² und um bestimmte Alkaloide.

Die alkylierenden Stoffe zeichnen sich unabhängig von ihrer chemischen Herkunft dadurch aus, daß sie auf Grund ihres Gehalts an reaktionsfähigen funktionellen Gruppen die Zellteilung empfindlich stören. Ein bekannter Vertreter dieser Stoffklasse wurde 1946 als Chemotherapeutikum empfohlen, nachdem er bis dahin nur als Kampfstoff Interesse gefunden hatte. Es ist das Stickstofflost, das in den folgenden Jahren zum Stammvater einer großen Zahl synthetischer Zytostatika avancierte. Anfang der 50er Jahre begann man mit der Synthese phosphorylierter Stick-

stofflostderivate. Während die zunächst synthetisierten kettenförmigen Verbindungen keine zytostatische Wirkung zeigten, gelang mit der Herstellung des Zyklophosphamids gegen Ende des Jahrzehnts »ein großer Wurf«. Die Substanz wird erst im Körper, vor allem in der Leber, bei Sauerstoffzutritt aktiviert. Sie besitzt ein breites Anwendungsspektrum und ist auch im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium des Krebses manchmal noch wirksam. Bedauerlicherweise haben jedoch auch die neueren Verbindungen dieser Art noch immer eine stark immunitätsunterdrückende Wirkung.

Die chemische Analogie zwischen den Stickstofflosen und den Äthylenimininen war der Ausgangspunkt für die Synthese zahlreicher Äthyleniminderivate für die zytostatische Testung. Dabei gelangte man zu einem bereits unmittelbar nach der Verabreichung wirkenden Zytostatikum (Trenimon), das seit 1961 für die Praxis zur Verfügung steht.

Von den zahlreichen Antibiotika haben nur wenige Eingang in die Krebstherapie gefunden. Zu den gegenwärtig interessanten Stoffen gehören u. a. das Rubidomycin und das Olivomycin. Auch das 1966 entdeckte Bleomycin hat in der Fachwelt Aufsehen erregt, weil keine immunitätsunterdrückenden Wirkungen nachgewiesen werden konnten.

Bei der Krebsbekämpfung mit Hilfe von Antimetaboliten wendet man Stoffe an, die sich chemisch so wenig von den körpereigenen Substanzen unterscheiden, daß die Zellen sie anstelle der »richtigen« Verbindungen aufnehmen. Dadurch werden die Zellen für die Aufnahme der benötigten Stoffe blockiert und sozusagen ausgehungert. Ihrer chemischen Konstitution nach handelt es sich um Abkömmlinge der Folsäure, des Purins und Pyrimidins sowie der Glutaminsäure.

Die Anwendung von Hormonen als Zytostatika beschränkt sich auf die Bekämpfung von Geschwülsten in Organen, die vorzugsweise hormonell gesteuert werden.

Obwohl die vollständige Heilung des Krebses mit Chemotherapeutika aus den eingangs erwähnten Gründen heute noch nicht möglich ist, haben sie sich zur Unterstützung von Krebsoperationen oft bewährt. Ferner sind Teilerfolge bei der Behandlung von Blutkrebsen sowie bei einigen speziellen Tumo-

1 Alkylierende Substanzen: Stoffe, die Alkylgruppen, also Radikale wie CH_3 – (Methyl), C_2H_5 – (Äthyl) usw., auf andere reaktionsfähige Verbindungen übertragen können.

2 Antimetabolit: Verbindung, die die Funktion eines Metaboliten (vgl. Fußnote S. 232) im Stoffwechselgeschehen des Organismus beeinträchtigt oder unterbindet. Es gibt A., die diese Störung auf Grund einer dem Metaboliten ähnlichen chemischen Struktur verursachen; A., die mit dem Metaboliten reagieren und dadurch dessen Struktur und Wirkung verändern, sowie indirekt wirkende A.

ren erzielt worden. Seitdem jedoch bekannt ist, daß viele Zytostatika eine immunitäts-
unterdrückende Wirkung haben, steht man
der vorbeugenden Chemotherapie nach er-
folgreicher Operation bzw. Bestrahlung wie-
der mit Skepsis gegenüber. Aus denselben
Gründen beginnt man eine – wenn auch zu-
nächst noch unspezifische – immunochemi-
sche Therapie anzuwenden. Beispielsweise
setzt man dafür in der DDR bei leukämischen
Erkrankungen im Kindesalter den Tuberku-
loseimpfstoff in der 16fachen Menge der
Normalimpfung ein.

Die Entwicklung spezifischer – d. h. nur auf
die Tumorzellen wirkender – Chemotherapeu-
tika wird noch eine hartnäckige Kleinarbeit
erfordern. Zytostatika der bisherigen Typen
werden voraussichtlich bis 1980 im Hinblick
auf ihre Leistungsmöglichkeit durchforscht
worden sein. Ihre Bedeutung für die weitere
Zukunft schätzt man sehr unterschiedlich
ein.

Die gezielte chemische Beeinflussung des
Tumorstadiums auf Grund neuer Einsichten
in die Zelldifferenzierung wird voraussichtlich
im Zeitraum 1980 bis 2000 möglich sein. Einen
Weg in diese Richtung weist die Therapie mit
dem Enzym Asparaginase. Gesunde Zellen
haben einen gewissen Asparaginbedarf, der
in bestimmten Krebszellen nicht mehr aus
eigener Produktion gedeckt werden kann.
Wird der Asparaginspiegel im Körper z. B. mit
Hilfe der desaminierenden Asparaginase
drastisch gesenkt, so sterben die Krebszellen
ab, während der Gesamtorganismus kaum
Schaden erleidet (außer in der Schwanger-
schaftsperiode). Man hofft, weitere physiolo-
gische Besonderheiten der Krebszellen auf-
zufinden und den erstmals mit der
Asparaginasebehandlung beschrittenen
Weg einer selektiven Chemotherapie sukzes-
sive ausbauen zu können. Die systematische
Untersuchung weiterer Enzyme, z. B. der
L-Glutaminase und der Arginase (das Wachs-
tum vieler Tumore wird durch die Aminosäure
Arginin gefördert), hat begonnen. Auch in
einigen Steroiden und anderen Stoffen mit
Hormonwirkungen glaubt man aussichtsrei-
che Ansatzpunkte gefunden zu haben.
Außerdem könnte eine Therapie unter Aus-
nutzung von pH-Differenzen zwischen Krebs-
und Normalzelle sowie die Kopplung von

Radioisotopen an tumorspezifische Che-
mikalienformen Bedeutung gewinnen.
Schließlich erhofft man sich neue Aspekte bei
der Aufklärung und Bekämpfung der
Krebserkrankungen von der Erforschung der
als Chalone bezeichneten Proteine, die das
Wachstum der Zelle regulieren.

Erst um die Jahrtausendwende kann mit der
Entwicklung von Stoffen gerechnet werden,
die die Entstehung bösartiger Geschwülste zu
verhindern vermögen. Damit wird die Che-
motherapie des Krebses in ihre letzte Phase
eintreten, die zweifellos mit einem Sieg der
Biochemie enden wird.

Aber kann man das auch erwarten bei den
Bemühungen um die Entwicklung von

Chemikalien zur Regulierung menschlicher Verhaltensweisen?

So unangenehm nüchtern es auch klingen
mag, Tatsache ist, daß nicht nur die phy-
sischen Leistungen unseres Körpers, sondern
auch alle seelischen Vorgänge in irgendeiner
Weise das Resultat biochemischer Prozesse
sind. Daraus ergeben sich reale Möglichkei-
ten, die psychischen Funktionsabläufe wie
Stimmungslage, seelische Verhaltensweisen
und intellektuelle Leistungen mit chemischen
Mitteln zu beeinflussen. Man braucht keine
speziellen Fachkenntnisse, um voraussagen
zu können, daß die Chemie auf diesem Gebiet
noch mit hochinteressanten Ergebnissen auf-
warten wird.

Das erste in Europa verwendete psychische
Beruhigungsmittel war die blutdrucksen-
kende Rauwolfiapflanze aus Indien, die sich,
wie man erst Anfang der 50er Jahre fand, auch
zur Behandlung von Gemütskrankheiten
eignet. Das wirksame Alkaloid erwies sich als
ein wahrer Formelwolkenkratzer und erhielt
den Namen »Reserpin«. Es wird inzwischen
synthetisch hergestellt.

In den letzten 15 Jahren wurden die Tran-
quilizer in die medizinische Praxis eingeführt.
Sie haben eine dämpfende, Angst und Span-
nung lösende (tranquilisierende) Wirkung. Bei
den in der DDR verfügbaren Produkten han-
delt es sich besonders um den Propandiolab-
kömmling Meprobamat sowie um das
Chlordiazepoxid Radepur^R. Beide stehen auch

in anderen Ländern an der Spitze der von den Ärzten verordneten Psychoarzneimittel. Ebenso beachtliche Resultate wurden jedoch in den letzten Jahren mit den Benzodiazepinen erzielt. So harmonisiert das Medazepan sogenannte »Minussymptome« wie Abgeschlagenheit und Hypochondrie, während das Diazepan »Plussymptome« wie Angst und Erregung dämpft. Das noch wenig erforschte Prazepan kann möglicherweise zu einem wichtigen Psychotherapeutikum der Zukunft werden, weil es nur geringe Nebenwirkungen zeigt und sich mit anderen Wirkstoffen kombinieren läßt. Insgesamt haben sich die Tranquilizer bisher recht segensreich ausgewirkt. Ihre Anwendung in den psychiatrischen Kliniken ermöglicht es, viele Geisteskranken zu entlassen, die nun zu Hause fast ein normales Leben führen können.

Als grundlegend neues Nervenheilmittel mit großen Zukunftsaussichten wird das in Belgien Ende der 60er Jahre eingeführte Pimozid bezeichnet. Das Mittel dient zur Behandlung chronischer Psychosen und wirkt gleichzeitig gegen Angstzustände. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß es in Tierversuchen mit Mäusen und Ratten gelungen ist, den Zustand »Angst« einem aus 14 verschiedenen Aminosäuren zusammengesetzten Peptid Skotophobin (skotos – grch. – Dunkelheit, phobos – grch. – Furcht) zuzuordnen. Der Stoff bildet sich beim Angsttraining der Tiere im Gehirn und kann daraus isoliert werden. Die chemische Synthese steht noch aus. Durch seine Übertragung auf andere Individuen läßt sich die »Angstinformation« weitergeben. Diese Erkenntnisse wird man zu gegebener Zeit auch beim Menschen nutzen oder mißbrauchen können. Man stelle sich nur eine Armee nach dem gelungenen Angriff des Gegners mit Angstsubstanzen vor!

Das neben dem Alkohol schon seit Jahrhunderten zur Erzeugung von Rauschzuständen angewandte Opium ist der eingetrocknete Milchsaft unreifer Samenkapseln des Schlafmohns (Papaver somniferum). Die Totalsynthese des darin zu 10% enthaltenen Hauptwirkstoffs Morphin ist noch immer unrational. Durch partialsynthetische Abwandlung und vollsynthetische Imitation der Opiumalkaloide werden jedoch zahlreiche Verbindungen hergestellt, die in der Medizin als

schmerz- und hustenstillende Mittel eine breite Anwendung finden. Darüber hinaus führt die Azetylierung des Morphins zu dem berühmten Rauschgift Heroin, das bereits in Mengen zwischen 50 und 75 mg ohne vorherige Gewöhnung tödlich wirkt und dessen medizinischer Gebrauch daher allgemein verboten ist.

Eine Sonderstellung unter den synthetischen Suchtmitteln nehmen die als Weckamine bezeichneten Phenylalkylamine ein. Sie haben eine zentralerregende Wirkung, die bis zur Euphorie gehen kann. Am stärksten stimulieren Amphetamin und Methamphetamin, die selbst tiefen, durch Narkotika hervorgerufenen Schlaf unterbrechen können. Sie sind besonders durch ihre mißbräuchliche Verwendung als »Dopingmittel« im Leistungssport bekannt geworden.

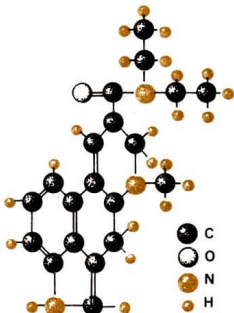
Aus dem indischen Hanf (*Cannabis sativa* var. *indica*) werden die berühmten Rauschmittel »Haschisch« (arabisch – das Harz der Pflanze) und »Marihuana« (mexikanisch – geschnittene Blätter und Blüten) gewonnen. Als halluzinogene Wirkstoffe sind die isomeren Tetrahydrocannabiole (T) identifiziert worden. Interessanterweise wird der eigentliche Rausch durch den Metaboliten¹ Hydroxy-T verursacht, der durch ein Enzym gebildet werden soll, das normalerweise gar nicht im Körper vorhanden ist, sondern erst als Reaktion auf die Zufuhr von T gebildet wird.

Das Kakteenalkaloid Meskalin zeichnet sich originellerweise dadurch aus, daß der Rausch vor dem Rausch kommt. Es wurde schon 1918 synthetisiert und ist chemisch mit den Weckaminen verwandt.

In den 50er Jahren wurde ein mexikanischer »Zauberpilz«, der Teonanacatl, entdeckt, dessen psychotrope Wirkung auf das Psilozybin zurückzuführen ist. Die Azteken nannten den Pilz das »Fleisch Gottes«, weil sie glaubten, durch seinen Genuß mit den Göttern in Verbindung zu kommen. Psilozybin ist weniger giftig, aber 50mal stärker psychotoxisch als Meskalin.

Das prominenteste aller Halluzinogene aber ist das unter der Abkürzung LSD weltweit

1 Metabolit: Sammelbezeichnung für die im normalen Stoffwechsel auftretenden Zwischenprodukte, wie z. B. Hormone, Enzyme, Vitamine.



LSD (Lysergsäurediäthylamid) ist ein »Star« unter den Moderausmitteln der kapitalistischen Welt. Im Jahre 1938 wurde es von A. Hofmann in den Laboratorien der Santoz AG, Basel, zum ersten Male aus Mutterkornalkaloiden halbsynthetisch hergestellt. Die halluzinogene Wirkung der Verbindung entdeckte er jedoch erst 1943 durch einen Zufall.

berüchtigte Lysergsäurediäthylamid. Es ist 100mal wirksamer als Psilozybin und etwa 10000mal so stark wie Meskalin! Die Wirkungen dieses Chemikals reichen von körperlicher Schwäche über Brechreiz, Lach- und Weinkrämpfe bis zur Bewußtseinspaltung und Enthemmung der Persönlichkeit. Oft treten farbigte Illusionen und Halluzinationen auf, die aus bekannten Gebieten kommen. So wird berichtet, daß beispielsweise Chemiker den ganzen Raum voller Formeln sahen! Über den Wirkungsmechanismus des LSD herrscht aber keine Klarheit, weil sich dieses Chemikal (die »normale« Dosis liegt bei 30 bis 100 µg!) im Körper vorläufig noch dem analytischen Zugriff entzieht. Man nimmt jedoch an, daß es direkt an den Schaltzellen des Zentralnervensystems angreift.

LSD hat verschiedene, kaum weniger wirksame Nachfolgesubstanzen gefunden. So tauchte 1967 in den USA ein Stoff auf, von dem 3 mg einen drei bis vier Tage anhaltenden Rausch erzeugten. Er war im Zuge einer Versuchsserie von der Dow Chemical Company synthetisiert worden. Aber bis heute ist niemandem bekannt, auf welchen Wegen er aus dem Werk hinausgeschmuggelt wurde!

Jedermann weiß, daß gegenwärtig in den kapitalistischen Ländern zahlreiche Menschen, darunter erschreckend viele Jugendliche, zum Rauschgift greifen und sich damit verheerenden gesundheitlichen Schädigungen aussetzen. Verantwortungslose Produzenten und Händler sorgen dafür, daß immer genügend »Stoff« im Angebot ist. Dabei müssen nach Einschätzungen aus der BRD im Rauschgifthandel oftmals viele Millionen Mark buchstäblich über Nacht flüssig gemacht werden. Die Beteiligung von Unternehmen und Banken ist also offensichtlich und bei Gewinnraten von mehreren 100% auch kein Wunder. Daraus erklärt es sich, warum die kapitalistische Gesellschaft mit diesem Problem nicht fertig wird und offenbar gar nicht fertig werden will. Zudem sind Rauschgiftverbraucher jedenfalls bedeutend weniger gefährlich als aktive Streiter für die Abschaffung der Profitwirtschaft. Nicht die Chemisierung oder familiärer Kummer sind also schuld am wachsenden Rauschgiftverbrauch in den kapitalistischen Ländern, sondern die herrschende Gesellschaftsordnung.

Viele Psychochemikalien wirken in Abhängigkeit von der Dosis als Gift oder auch als Medikament. In manchen Fällen (z. B. beim LSD) gilt jedoch der therapeutische Wert zumindest in den sozialistischen Ländern überhaupt noch nicht als erwiesen. Von diesen Unsicherheiten abgesehen, kann man sagen, daß im Jahre 1964 etwa 4200 und 1965 schon ungefähr 5000 Psychoarzneimittel bekannt waren. Seitdem ist die Zahl der jährlichen Neuentwicklungen bis auf etwa 100 zurückgegangen.

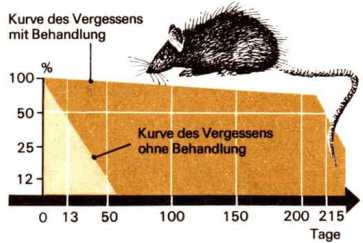
Interessanterweise sehen die Fachleute gegenwärtig nur wenige Ansatzpunkte für die Synthese neuartiger Psychopharmaka. Nach verbreiteter Auffassung werden die Substanzklassen, aus denen bereits mit Erfolg wirksame Stoffe entwickelt wurden (wie Phenothiazine, Butyrophenone, Benzoprenone, Indolderivate), weiterhin vorherrschen. Der Trend, Arzneimittel mit spezifischer Wirkungsrichtung herauszubringen, ist in den Vordergrund getreten. Wahrscheinlich wird jedoch erst nach weiteren Ergebnissen zur Biochemie von Psychosen zwischen 1980 und 1990 die gezielte Synthese spezifisch wirken-

der Psychoarzneimittel aktuell werden. Deshalb ist mit neuartigen Präparaten zur Behandlung von Depressionen, Angst und Spannungszuständen, aber auch zur Steuerung solcher Prozesse wie Ermüdung, Erschöpfung, Erholung, Stimmung, Phantasie erst in den späten 80er Jahren zu rechnen.

In den westlichen Ländern erwartet man etwa ab 1985 die verbreitete Anwendung von Stoffen, die spezifische Änderungen der Persönlichkeitscharakteristika hervorrufen, ohne jedoch narkotische Wirkungen zu haben. Man setzt vorausschauend in Rechnung, daß derartige Präparate als fragwürdige Genußmittel vielleicht sogar den Alkohol ablösen könnten. Angesichts eines solch treuerzigen Wunderglaubens ist man sogar als Alkoholnormalverbraucher bestürzt!

Von besonderem Interesse ist, daß bis 1990 Substanzen verfügbar sein sollen, die geeignet sind, den menschlichen Widerstandswillen zu zerstören. Die Gefahr, daß derartige Chemikalien von den führenden kapitalistischen Staaten für eine militärische Anwendung mißbraucht und wahrscheinlich sogar bevorzugt für derartige Zwecke entwickelt werden, ist nach den bisherigen Erfahrungen sehr groß, denn Psychogifte scheinen mehr noch als andere chemische Kampfstoffe »Kriegserfolge ohne Blutvergießen« zu versprechen. Allerdings sind psychoaktive Verbindungen beim derzeitigen Entwicklungsstand – soweit er bekannt ist – nur für territorial sehr begrenzte Kampfkationen z. B. zur Liquidierung kleiner Führungsgruppen geeignet. Nach der Bemerkung eines Generals des US-Chemical Corps, die er 1968 vor dem Kongreß abgab, hätte jedoch beispielsweise auch eine der Berlinskrisen als geeignete Gelegenheit zur Anwendung dieser Kampfstoffe dienen können! Im übrigen darf man sicher sein, daß aus der Wunderkiste der Psychogifte noch allerhand unliebsame Überraschungen ans Tageslicht kommen werden. Die sozialistischen Länder unternehmen deshalb große Anstrengungen, um ein internationales Verbot für die Herstellung und Anwendung derartiger Chemikalien und darüber hinaus aller chemischen Kampfstoffe durchzusetzen.

Erfreulichere Perspektiven eröffnen die Bemühungen zur chemischen Beeinflussung der Lernprozesse. Die intensive molekularbio-



Wird man die Gedächtnisleistungen eines Tages mit chemischen Mitteln verbessern können? Ratten zeigen ein besseres Gedächtnis nach einer Behandlung mit Ortsäure.

logische Bearbeitung der Hirnfunktionen in Verbindung mit neuen Erkenntnissen der Verhaltensforschung soll unser Wissen über das Lernen und die Arbeit des Gedächtnisses in einem solchen Maße erweitern, daß man im ersten Jahrzehnt nach 2000 eine medikamentöse Steuerung dieser Vorgänge für möglich hält. Dabei wird von größtem Interesse sein, ob durch die Anwendung von Stoffen, die die Intelligenz zu steigern vermögen, auch eine allgemeine Erhöhung des Bildungsniveaus erreicht werden kann. Mit der Entdeckung von Substanzen, die die individuelle Lernleistung fördern, rechnet man ohnehin schon bis etwa 1985.

Aber die Bestrebungen der Biochemiker gehen noch weiter. Kurz und bündig könnte man sagen:

Strategisches Ziel ist die Steuerung der Lebensprozesse

Im Jahre 1909 erschien in Leipzig ein Buch, in dem der Arzt De La Mettrie nach gründlichen Erörterungen den Satz niederschrieb: »Ich täusche mich sicher nicht, der menschliche Körper ist eine Uhr«. Heute wird sehr oft ein anderer Vergleich gebraucht, indem man formuliert: »Der lebendige Organismus ist eine chemische Fabrik«. In diesem Postulat kommt der seit dem Anfang unseres Jahrhunderts erzielte naturwissenschaftliche Fort-

schritt schon recht gut zum Ausdruck, denn wir wissen heute, daß alle Lebensäußerungen – Vermehrung, Wachstum, Bewegung, Sinnesreiz, ja sogar geistige Aktivität und Gefühlsleben – Resultat und Ursache biochemischer Reaktionen sind. Der nicht weniger beeindruckende geisteswissenschaftliche Erkenntniszuwachs fällt dagegen meist stillschweigend unter den Tisch. Das Leben ist aber ebensowenig eine Anhäufung chemischer Reaktionen, wie es eine Summe mechanischer Bewegungen ist. Mit dem Zusammenspiel einer Vielzahl von komplizierten chemischen Reaktionen im organischen Substrat tritt vielmehr eine höhere »biologische« Bewegungsform der Materie in Erscheinung. Diese neue Qualität ist das Leben.

Alle chemischen Aktivitäten im lebenden Organismus werden bekanntlich durch Enzyme oder Fermente bewirkt. Sie sind bei Gehirnprozessen ebenso beteiligt wie bei der Neubildung organischer Substanzen und bei der energieliefernden Verbrennung der Nahrungsstoffe in den dafür zuständigen Organen. Deshalb erfolgt auch nahezu jeder chemische Eingriff – sei es mit Giften oder mit Medikamenten – über eine Fermentwirkung. Von ähnlich großer Bedeutung für die Steuerung der Lebensvorgänge sind die Hormone. Es ist danach selbst für den Laien verständlich, daß die Beherrschung der Enzym- und Hormonchemie in ihren Auswirkungen noch gar nicht zu übersehende Möglichkeiten bieten kann, um die Aufbau-, Abbau- und Umbauprozesse in lebenden Organismen vollständig nach dem Willen des Menschen zu lenken.

Enzyme versehen in der lebenden Zelle die Funktion von Katalysatoren. Sie sorgen dafür, daß die biochemischen Reaktionen mit der zur Aufrechterhaltung der Lebensprozesse erforderlichen Geschwindigkeit ablaufen. Da in der Zelle Hunderte von chemischen Reaktionen gesteuert werden müssen, darf jeder Biokatalysator jeweils nur ganz bestimmte Prozesse auslösen, und er muß schon in kleinsten Mengen funktionieren.

Seit 1926, als James Sumner das erste Ferment (Urease aus Jackbohnenmehl) kristallisierte, sind Hunderte von Enzymen rein dargestellt worden, und mehr als tausend sind bis heute bekannt. Alle haben sich als Proteine erwiesen. Noch Ende der 30er Jahre hatte

man keine Hoffnung, die komplizierte Struktur dieser hochmolekularen Stoffe überhaupt jemals bestimmen zu können. Heute ist ihre massenspektrographisch durchgeführte Analyse schon automatisiert, und Ketten mit 400 Säureresten bringen die Spezialisten keineswegs mehr in Verlegenheit.

In den letzten 15 Jahren arbeiteten die Chemiker überwiegend an Peptiden¹ mit einer Kettenlänge bis etwa 40 Aminosäuren, unter denen zahlreiche Hormone mit starker physiologischer Aktivität gefunden wurden. Diese Stoffe werden im Organismus sozusagen in Minutenschnelle aufgebaut, während ein gutes Chemikerkollektiv dazu Wochen, Monate und sogar Jahre benötigt. Es scheint deshalb auf den ersten Blick aussichtslos zu sein, der Natur auf diesem Gebiet Konkurrenz machen zu wollen. Aber dieser Eindruck täuscht. Wenn nämlich das Syntheschema erst einmal ausgearbeitet ist, kann nicht nur das Naturprodukt, sondern auch eine Vielzahl chemisch abgewandelter Verbindungen relativ schnell und vor allen Dingen auch in größeren Mengen hergestellt werden. Das vergangene Jahrzehnt brachte mit den Synthesen von Kortikotropin (Hypophysenhormon, das die Funktion der Nebennierenrinde steuert), Insulin (Hormon der Bauchspeicheldrüse, das den Blutzuckerspiegel herabsetzt), Glukagon (Hormon der Bauchspeicheldrüse, das den Blutzuckerspiegel erhöht), Kalzitinin (Schilddrüsenhormon, das den Kalziumspiegel im Blut erniedrigt) und mit der kürzlich gelungenen Synthese eines Enzyms (Ribonuklease) sowie eines Releasinghormons große Fortschritte. Bei einigen Neurohypophysenhormonen (dem wehenauflösenden Oxytozin und dem antiharttreibenden und blutdruckerhöhenden Vasopressin) konnten in den letzten Jahren bei konstanter Molekülgröße synthetische Analoga aufgebaut werden, die das Naturprodukt hinsichtlich Wirkungsintensität und Lebensdauer weit übertreffen. Das sogenannte adre-

1 Peptide = Verbindungen aus zwei oder mehreren Aminosäuren, die über die Gruppierung – CO–NH – (Peptidbindung) miteinander verknüpft sind. Je nach Anzahl der beteiligten Aminosäuren unterscheidet man Di-, Tri-, Tetra-... Polypeptide. Proteine sind Peptide mit mehr als 100 Aminosäurenbaugruppen.

nokortikotrope Hormon (ACTH) wird im Vorderlappen der Hypophyse (Hirnanhangsdrüse) produziert und löst in der Nebennierenrinde die Ausschüttung der für den Umbau von Eiweiß zur Glukose verantwortlichen Kortikosteroide aus. Es besteht aus einer Kette von 39 Aminosäuren, deren aktiver Bereich aber nur 5 Bausteine umfaßt. Nach der Aufklärung dieser Zusammenhänge wurde mit einer vollsynthetischen Kette von nur 17 Aminosäuren die vierfache Wirkung des natürlichen Hormons erreicht. Derartige künstliche »Rumphormone« werden in der Zukunft steigende Bedeutung erlangen.

Als eine der wachstumsstimulierenden Substanzen für Knochen und Muskeln wurde schon vor einiger Zeit das Hypophysenhormon Somatotropin erkannt. Es besteht aus 188 Aminosäurebausteinen und ist deshalb einer industriellen Herstellung vorläufig nicht zugänglich. Um so wichtiger erscheint es, daß 1973 ein Dekapeptid entdeckt wurde, das den Organismus zu einer höheren Somatotropinerzeugung anregt. Als Dekapeptid ist es prinzipiell auch technisch zugänglich. Außerdem wirkt es beim Menschen ebenso wie beim Tier. Sollten wir einer Zeit entgegengehen, in der wir die Größe unserer Schlachttiere nach Belieben werden regulieren können?!

Releasinghormone entstehen in winzigen Mengen im Steuerzentrum (Hypothalamus) des Zwischenhirns und bewirken sodann im Hypophysenvorderlappen die Ausschüttung (release — Freisetzung) spezieller Hormone. Selbst Hunderttausende von Hypothalami ergaben so wenig Material, daß die aufgefundenen Aminosäuren zunächst nur als Verunreinigungen gedeutet wurden. Für die Praxis können diese Stoffe demnach nur als Synthetika in ausreichenden Mengen zur Verfügung gestellt werden. Bisher ist jedoch erst die Strukturaufklärung und Darstellung des Thyreotropin-Releasing-Hormons geglückt.

Die in den nächsten Jahrzehnten zu erwartenden Synthesen zahlreicher verschiedener Enzyme und Peptidhormone sowie wirkungshomologer Verbindungen mit einfacherer Struktur werden für die Behandlung vieler Krankheiten ebenso wie für die Entwicklung der technischen Mikrobiologie (Anwendung von Enzymen für industrielle Prozesse) neue Maßstäbe setzen. Eingriffe in den biokyberne-

tischen Regelmechanismus der Hormonsteuerung werden es voraussichtlich schon in den 80er Jahren ermöglichen, bestimmte Fehlleistungen des Organismus direkt durch eine Behandlung der Krankheitsursachen zu reparieren.

Eine gezielte Beeinflussung des Hormonsystems erfordert auch die

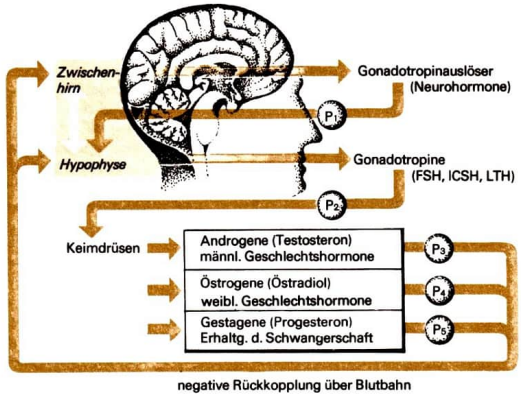
Geburtenregelung mit Hilfe der Chemie

Die phantastischen Ergebnisse biochemischer Forschung auf dem Gebiete der Fortpflanzung sind fast schon zur unbeachteten Selbstverständlichkeit geworden. Der Ausdruck »Pille« (auch Antibabypille oder Wunschkindpille) bedarf heute nicht einmal mehr bei Schulkindern einer Erläuterung. Dabei stehen wir gerade erst am Anfang einer vielversprechenden Entwicklung, deren Ergebnisse besonders durch die Subtilität beeindruckend werden, mit der die Feinregulierung der Sexualbiologie mit Hilfe von »maßgeschneiderten« Chemikalien möglich sein wird.

Die Fortpflanzungsbiologie des Menschen wie auch der Säugetiere wird durch ein kompliziertes Hormonsystem gesteuert. Im Zwischenhirn erzeugte Releasinghormone veranlassen in der Hirnanhangsdrüse die Bildung der auf die Keimdrüsen oder Gonaden wirkenden Gonadotropine, bei denen es sich um Peptidhormone handelt. Die Gonadotropine wiederum steuern die Produktion der als Geschlechtshormone wirkenden Steroide in den Keimdrüsen. Wenn deren Konzentration einen gewissen Wert überschreitet, so hemmen sie durch eine negative Rückkopplung ihre eigene Nachlieferung. Diese Tatsache bildet die Grundlage für die praktische Beeinflussung der Fortpflanzungsprozesse, indem an geeigneten Stellen des Systems durch Zufuhr der entsprechenden Hormone oder wirkungsäquivalenter Verbindungen regulierend eingegriffen wird.

Bisher kann »nur« die Fruchtbarkeit der Frau in praktikabler Weise beeinflußt werden. Bekanntlich vollzieht sich im Eierstock innerhalb eines Zeitraums von vier Wochen die Entwicklung einer die Eizelle enthaltenden erbsengroßen Blase, die man als Follikel bezeichnet. Aus unserem Schema geht hervor, daß sowohl

Hormonsystem zur Steuerung der Fortpflanzungsbiologie mit den Ansatzpunkten für eine künstliche Regulierung.



das Schwangerschaftshormon Progesteron als auch das weibliche Geschlechtshormon Östradiol die für die Entwicklung der Eizelle erforderlichen Hormone FSH¹ und ICSH² in der Hypophyse bremsen. Wenn man also die Konzentration der Östrogene (weibliche Sexualhormone) oder der Gestagene (Schwangerschaftshormone) im Blut künstlich hochhält, dann gelingt es, den Menstruationszyklus vollständig zu unterbrechen. Ohne FSH kann kein Follikel mehr reifen, und ohne ICSH kann die Eizelle selbst dann nicht aus dem Follikel freigesetzt werden (Ovulation), wenn reife Follikel vorhanden wären. Aus dieser Tatsache resultiert für die in der Schwangerschaftsverhütung verwendeten Präparate die Bezeichnung »Ovulationshemmer«. Wenn man nur Östrogene anwendet, dann muß eine überdurchschnittliche Ausbildung der sekundären weiblichen Geschlechtsmerkmale befürchtet werden, was ohne Zweifel nur in einem bestimmten Rahmen erwünscht sein kann. Nimmt man andererseits nur Gestagene, so werden (weil die Östrogenproduktion blockiert wird) die auch im Körper der Frau gebildeten männlichen Geschlechtshormone mitsamt den dadurch ausgelösten negativen

Veränderungen die Oberhand gewinnen. Deshalb sind als Ovulationshemmer Mischungen der beiden Hormontypen oder vielmehr ihrer synthetischen Abkömmlinge in Gebrauch, die in Form von »Pillen« eingenommen werden können.

Die ersten Präparate dieser Art wurden 1960 auf der Basis Äthynyltestosteron und Äthynyl-Östradiol-Methyläther in den USA herausgebracht. Im darauffolgenden Jahrzehnt entwickelten alle maßgeblichen Arzneimittelfirmen der Welt verschiedene Ovulationshemmer. Heute ist man dabei, neue Wirkprinzipien und vor allem Präparate ohne Nebenwirkungen aufzusuchen.

In der letzten Zeit hat man Langzeitovulationshemmer entwickelt, die mittels Injektion verabreicht werden und die nach einmaliger Gabe einen über Monate dauernden Konzeptionsschutz sichern. Der Vorteil besteht im Wegfall der täglichen Einnahme, wodurch Versager vermieden werden. Als wirksames Gestagen ohne Nebenwirkungen hat sich dabei Medroxyprogesteronazetat bewährt.

Gegenwärtig regeln etwa über 30 Mill. Frauen in aller Welt die Geburtszahlen und -folge mit chemischen Ovulationshemmern. Die Zahl der Frauen, die in der DDR die Wunschkindpille nehmen, liegt weit über 500 000. Damit nutzt bei uns mindestens jede siebente Frau im gebärfähigen Alter bis zu

1 FSH = Follikelstimulierendes Hormon

2 ICSH = Interstitial Cell Stimulation Hormone – Zwischenzellstimulierendes Hormon.

45 Jahren diese von der Chemie geschaffene Möglichkeit der Geburtenregelung. Die individuelle Regulierung des Fortpflanzungsprozesses entspricht offenbar den Bedürfnissen des modernen Menschen. So wird die Pille in den entwickelten Ländern überwiegend nicht deshalb genommen, weil die Frauen überhaupt keine Kinder mehr haben wollen, sondern weil sie den Zeitpunkt dafür selbst bestimmen möchten. Die positiven Auswirkungen der dadurch gewonnenen biologischen Sicherheit auf die persönliche Leistungsfähigkeit sollten keinesfalls unterschätzt werden.

Der im Schema auf Seite 237 dargestellte negative Rückkopplungsmechanismus wird auch durch die männlichen Sexualhormone oder Androgene ausgelöst, deren wichtigstes das Testosteron ist. Durch Testosteronabgaben könnte man über eine Hemmung der FSH-Produktion die Entwicklung und Reifung der Spermien wirksam unterbrechen. Es sollte deshalb möglich sein, neben der Antibabypille für die Frau eine Antispermipille für den Mann zu entwickeln. Die erhöhte Testosteronzufuhr würde aber zu einer verstärkten Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale führen, so daß sich die potentiellen Kandidaten für eine solche Behandlung möglicherweise auf eine unangenehm häufige Rasur einstellen müßten. Zwar wäre die Hemmung der FSH-Produktion auch mit Hilfe von Östrogenen praktikabel, aber die dadurch bedingte Unterdrückung der Testosteronausschüttung (durch den ICSH-Ausfall) hätte eine »Verweiblichung« der Männer zur Folge. Mit einer gemeinsamen Applikation von Östrogenen und Androgenen könnten diese Schwierigkeiten umgangen werden. Da es aber bisher keine ausreichend billigen Präparate mit androgener Wirkung gibt, wird die Entwicklung der Antispermipille unseren Nachkommen vorbehalten bleiben.

Das Problem der Geburtenregelung hat jedoch neben der Unterdrückung unerwünschter Schwangerschaften überraschenderweise noch einen anderen Aspekt, nämlich den der Schwangerschaftsstimulation! Immerhin bleiben in der DDR etwa 10 bis 15 % aller Ehen ungewollt kinderlos. In 50 % dieser Fälle liegen die Ursachen der Sterilität bei den Frauen, in 40 % der Fälle beim Mann, und zu 10 % sind

beide Partner beteiligt. Die Sterilität der Frau geht zu etwa 40 % auf Gonadotropinmangel und dadurch bedingte Blockade der Ovulation zurück. Abhängig davon, ob die Störung der Gonadotropinerzeugung an den Produktionsstätten des Gonadotropins in der Hypophyse oder bei den im Zwischenhirn erzeugten Gonadotropinauslösern zu suchen ist, kann sie durch die Verabreichung entsprechender Peptidhormone bzw. wirkungsäquivalenter Verbindungen behoben werden. So wird etwa seit Mitte 1972 in der Universitätsfrauenklinik in Berlin mit Erfolg ein aus 10 Aminosäuren aufgebauter Luteinisierungshormon-Releasing-Faktor (LH-RF) eingesetzt. Derartige Behandlungsmethoden werden künftig an Bedeutung gewinnen, wenn es gelingt, Releasinghormone zu synthetisieren oder geeignete Stellvertreter aufzufinden und herzustellen.

Abschließend wollen wir noch bemerken, daß die natürliche und künstliche Steuerung der Sexualbiologie bei den Säugetieren grundsätzlich nach den gleichen Prinzipien erfolgt und – wie bereits im vorigen Kapitel erwähnt – in der industriellen Tierproduktion auch schon technisch genutzt wird.

Die Biochemiker haben sich also bei der Entstehung neuen Lebens eine unentbehrliche Geburtshelferfunktion erkämpft, aber schon beschäftigen sie sich auch mit dem Ende aller Lebensprozesse, und das natürlich, um es länger hinauszuschieben. Die Hoffnung vieler ist deshalb bei einigen Optimisten schon zur Gewißheit geworden:

Der Tod wird überlistet werden!

Es gibt wohl keinen Erdenbürger, der das Altern der Menschen und darüber hinaus aller Lebewesen nicht für die selbstverständlichste Sache der Welt halten würde. Altersschwäche zwischen dem 60. und 80. Lebensjahr und Tod zwischen dem 70. und 90. Lebensjahr, das scheint das unabwendbare Schicksal aller derjenigen zu sein, die den Fährnissen des Lebens bis zum Rentenalter erfolgreich widerstanden haben. In früheren Zeiten waren das nur wenige. Heute aber liegt die durchschnittliche Lebenserwartung in den entwickelten Ländern bei über 70 Jahren.

Der nächstliegende Weg zur weiteren Ver-

längerung des menschlichen Lebens besteht in der schrittweisen Beseitigung aller äußeren Faktoren, die der Langlebigkeit entgegenwirken und die im weitesten Sinne unter der Formel »Kampf für den sozialen Fortschritt« zusammengefaßt werden können. Alle Erfahrungen zeigen aber, daß die Menschen selbst unter den günstigsten Verhältnissen im Rahmen des oben erwähnten Grenzbereiches sterben. Um diese »Schallmauer« des menschlichen Alterns zu durchbrechen, bedarf die Medizin der Hilfe von Chemie und Biologie in einem noch nicht dagewesenen Ausmaß.

Der Alterungsprozeß geht wahrscheinlich auf eine durch Unregelmäßigkeiten im hormonalen Steuerungssystem verursachte Störung des Gleichgewichts der im Organismus ablaufenden enzymatischen Reaktionen zurück. Es besteht deshalb die berechtigte Aussicht, einen Teil dieser Abweichungen durch den Einsatz chemischer Mittel korrigieren zu können.

In den 20er Jahren unseres Jahrhunderts wurden große Hoffnungen auf Verjüngungskuren mit Geschlechtshormonen gesetzt. Diese Methode führte vorübergehend zu vielbeachteten Ergebnissen. Der französische Arzt Voronoff kam sogar auf die Idee, Affenkeimdrüsen in Menschen zu verpflanzen. »Ich sehe die Zeit kommen, wo es in den Vereinigten Staaten ebenso viele Affenniederlagen geben wird wie Fordfilialen«, prophezeite er mit entwaffnendem Optimismus. Heute ist es um diese Verjüngungskuren wieder still geworden.

Erste systematische Versuche über den Einfluß verschiedener Substanzen auf die Lebensdauer stammen von dem amerikanischen Biologen Machey. Seine Erkenntnis, daß man das Leben von Versuchstieren verlängern kann, wenn das Wachstum durch eine besonders kalorienarme Futterration gehemmt wird, ist durch zahlreiche Experimente besonders in den USA und der UdSSR erhärtet worden. Die Lebensdauer von Taufliedern und Wasserflöhen konnte durch Beschränkung des Kaloriengehaltes einer ansonsten qualitativ ausgewogenen Nahrung immerhin auf das 3- bis 3,5fache gesteigert werden. Bei genauer Dosierung des Eiweißanteils der Nahrung (im Optimum 14%) war

es möglich, die durchschnittliche Lebensdauer von Ratten zu verdoppeln. Eine Lebensverlängerung wurde auch mit der Aminosäure Zystein, bestimmten Vitaminen, Paraaminobenzoesäure, Anabolihormonen für die Förderung der Eiweißsynthese und anderen Stoffen erreicht. Die Anwendung dieser Ergebnisse auf den Menschen werden aber vorläufig nur Spaßvögel empfehlen.

Eine zielgerichtete Fortführung der Versuche mit einer großen Anzahl chemischer Verbindungen aus den verschiedensten Stoffklassen könnte jedoch in den nächsten Jahrzehnten zur Aufklärung der Zusammenhänge zwischen physikalisch-chemischer Struktur und Alterungswirkung führen. Auf dieser Grundlage wird man Präparate entwickeln, die die Lebensdauer einzelner Organe (z. B. der Leber oder des Gehirns) selektiv beeinflussen, und andere Medikamente, die eine Breitenwirkung auf den Gesamtorganismus ausüben. Am Ende dieses Weges könnte man es fertigbringen, spezifisch wirkende Antialterungspräparate zu synthetisieren.

Der eigentliche Generalangriff auf die natürliche Altersgrenze des Menschen wird aber voraussichtlich mit den Mitteln der Molekularbiologie geführt werden, denn es besteht Anlaß zu der Annahme, daß der Alterungsprozeß genetisch programmiert ist. So wird die Hypothese vertreten, daß die als Stoffwechselprodukte anfallenden polyfunktionellen Verbindungen (z. B. Äpfel-, Bernstein- und Fumarsäure sowie Radikale) zwei benachbarte Eiweißmoleküle durch Brückenbildung gleichsam miteinander vernähen können. Diese Defekte führen zur Häufung fehlerhafter Eiweiße und damit zu Funktionsstörungen in der Zelle, die in letzter Konsequenz den Alterungsprozeß auslösen.

Einige Altersforscher vertreten die Auffassung, daß es schon in der ersten Hälfte des nächsten Jahrhunderts gelingen wird, die Grenze des Alterns und den Tod um 40 bis 60 Jahre hinauszuschieben. Damit wären die Voraussetzungen geschaffen, um die durchschnittliche Lebenserwartung bis auf etwa 130 Jahre anzuheben. Später könnte es möglich werden, die Lebenserwartung sogar bis auf 200 Jahre zu steigern! Die Erkenntnisse der Biochemie schließen jedenfalls eine solche Möglichkeit nicht aus.

Die Chemie im Fadenkreuz der Politik

Kann die Chemie den Lauf der Politik beeinflussen?

Es wird deutlich geworden sein, daß die Chemie ihre Bedeutung nicht nur aus hervorragenden wissenschaftlichen Leistungen gewinnt, sondern vor allem dadurch, daß diese Leistungen mit Hilfe industrieller Prozesse in eine für die gesamte Menschheit wirksame Qualität umgesetzt werden. Dabei hat die moderne Chemie einen weit über die eigentliche chemische Industrie hinausreichenden Aktionsradius. Mit Hilfe chemischer Prozesse wird ein beachtlicher und noch ständig wachsender Teil des Nationaleinkommens der Industriestaaten erwirtschaftet. Deshalb ist eine leistungsfähige Chemie gleichbedeutend mit großer Wirtschaftsmacht. Dies bedeutet nicht mehr und nicht weniger, als daß mit ihrer Hilfe Politik gemacht werden kann und tatsächlich auch gemacht wird. Sie liefert dafür sowohl finanzielle als auch substantielle Mittel.

Natürlich ist die Chemie weder gut noch schlecht, und sie hat weder als wissenschaftliche Disziplin noch als technische Manifestation irgendwelchen Klassencharakter. Die Chemieapparatur fragt nicht danach, mit welchen Mitteln und mit welcher Absicht sie gebaut worden ist. Wenn die fachlichen Eingangsdaten richtig sind und die Ausführung sachgerecht ist, wird die Anlage funktionieren, einerlei ob sie von Kapitalisten oder von Kommunisten errichtet wurde. Wohl aber kann sie von der herrschenden Klasse für eine

den Volksmassen dienende oder eine dem Volke schadende Sache ausgenutzt werden.

So bieten zahlreiche Produkte und Verfahren der Chemie außerordentliche Möglichkeiten zur Erhöhung der Produktivkräfte und zur Verbesserung des Lebens der Menschen in allen Bereichen, zugleich aber stellen viele von ihnen direkt oder indirekt materielle Ressourcen für den Krieg dar. Die Grenzen der Verwendungsmöglichkeiten vieler chemischer Erzeugnisse für zivile und militärische Zwecke verwischen sich immer mehr. Dadurch wird die Vorbereitung militärischer Unternehmungen vor allem durch potentielle Aggressoren sehr erleichtert. Ob jedoch eine geeignete chemische Verbindung tatsächlich etwa als Unkrautvertilgungsmittel oder als chemischer Kampfstoff eingesetzt wird, ist keine Angelegenheit von Apparaten, sondern eine Sache der Menschen, und zwar auch derjenigen, die im stillen Labor die scheinbar oft harmlosen Grundlagen dafür ausarbeiten. Meinungsverschiedenheiten über die weitere Entwicklung der Chemie sowie über die Arbeit in den Betrieben werden nicht von Maschinen, sondern zwischen den Menschen ausgetragen. Demzufolge ist alles, was mit der Wissenschafts- und Wirtschaftspolitik in Verbindung steht, z.B. die Verteilung der Forschungsmittel und Investitionen sowie die Nutzbarmachung der Ergebnisse, im weitesten Sinne von den politischen Machtverhältnissen abhängig. Die Umstände der Erarbeitung und die Nutzung chemischer Erkenntnisse sind also klassenbedingt und dienen Klasseninteressen. Wer unter diesen Voraussetzungen glaubt, sich als Chemiker neben die Politik stellen zu können, der ist offensichtlich »auf dem Holzweg«.

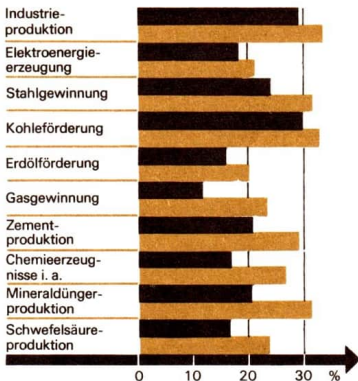
Die Zusammenhänge zwischen Politik und Chemie sind objektiver Natur, aber leider sind sie nicht an jedem Arbeitsplatz so transparent wie etwa in der Sprengstoff- oder Herbizidproduktion. Eine außerordentlich wichtige Aufgabe, die in 10 oder 20 Jahren genau noch so aktuell sein wird wie heute, besteht deshalb für die staatlichen und gesellschaftlichen Leitungen unserer Chemiebetriebe und vor allem auch für unsere Lehranstalten darin, die reale Existenz derartiger Beziehungen jedem Mitarbeiter und Schüler bewußt zu machen. Dafür bieten sich in der Chemie mehr Möglich-

keiten als auf den meisten anderen Fachgebieten.

Ein besonders augenfälliges Beispiel für die Ausnutzung der Chemie im Interesse des Monopolkapitals sowie für die Einflußnahme der Chemieindustrie auf die Politik bietet die Geschichte des IG-Farbenkonzerns. Die überaus enge Verflechtung dieses Chemieunternehmens mit der politischen Macht in Deutschland gab schon vor dem zweiten Weltkrieg Anlaß für einen ebenso lapidaren wie treffenden Vergleich. Damals bezeichnete man Deutschland im Ausland oft einfach als den IG-Staat. Was dieser IG-Staat alles fertiggebracht hat, das sollte vor allem auch von den Chemikern niemals vergessen werden!

Die Ereignisse beweisen, daß aus dem »imperialistischen Wolf« auch heute noch kein »volkskapitalistisches Lamm« geworden ist. Im Gegenteil, an den verbrecherischen Abenteuern des amerikanischen Kapitals in Vietnam, Laos und Kambodscha Ende der 60er und Anfang der 70er Jahre hatten die großen Chemiemonopole wieder einen hervorragenden Anteil. Heute aber ist die Macht der Chemiekonzerne und ihr verderblicher Einfluß auf die Politik der kapitalistischen Staaten größer als je zuvor! Die zunehmende Konzentration der chemischen Wissenschaft und Produktion in gigantischen Monopolen sowie deren enge Verflechtung mit der Staatsmacht beschwören deshalb für die Menschheit große Gefahren herauf.

Auf der anderen Seite eröffnen die gewaltigen Potenzen der Chemie ungeahnte Möglichkeiten zur Vorwärtsentwicklung der Menschheit, wenn sie — anstatt im Interesse von Einzelpersonen oder Kapitalgruppen — ausschließlich zum Wohle der gesamten Gesellschaft gelenkt werden. In diesem Sinne nutzt man die Erkenntnisse der chemischen Wissenschaft mit Hilfe einer rasch wachsenden, volkseigenen Industrie in den sozialistischen Staaten. Zum ersten Male in ihrer spannungs- und konfliktreichen Geschichte kann hier die Chemie ohne jede Einschränkung in den Dienst des gesellschaftlichen Fortschritts gestellt werden. Das betrifft auch ihre Verpflichtung zum Schutz unserer Umwelt. Gerade in diesem Zusammenhang geht es oft weniger um technische Probleme als vielmehr um die Beantwortung der Frage



Die Anteile der RGW-Länder an der Weltproduktion sind auf allen Gebieten der stoffwandelnden Industrie rasch im Wachsen begriffen (schwarz 1960, farbig 1975).

Wer soll das bezahlen?

Früher waren die Wirkungen des Menschen gegenüber der Umwelt zu vernachlässigen. Erst mit dem Sieg der kapitalistischen Produktionsweise erreichte die technische Entwicklung und zugleich auch die Bevölkerungsdichte in den fortgeschrittensten Teilen der Welt einen solchen Stand, daß eine ernsthafte Gefährdung der Lebensbereiche des Menschen in globalen Dimensionen zu befürchten war. Sicherlich haben daran viele Industriezweige und sogar die Haushalte ihren Anteil. Wer aber genau hinsieht, der muß schon eingestehen, daß die horrendsten »Schmutzereien« meist irgendwie mit der Chemie zusammenhängen. Über den chemischen Produktionsstätten bilden sich braune oder graue Rauchfahnen und schwängern die Luft mit Staub und giftigen Gasen. Sie beeinträchtigen das Pflanzenwachstum und machen in den großen Industriezentren oft sogar den Menschen das Atmen schwer. In den Gewässern sammeln sich die chemischen Rückstände von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln aller Art. Auf den Müllplätzen — und leider

nicht nur dort — türmen sich Kunststoffabfälle und andere Materialreste, die ihren Ursprung aus den Retorten der chemischen Produktion nicht verleugnen können. Schädlingsbekämpfungsmittel reichern sich im Gewebe von Tier und Pflanze an und beschwören auf die Dauer mancherlei Gefahren herauf. Mit einem Wort, die Benutzung der Umwelt durch den Menschen ist zu einer Gefahr für den Menschen selbst geworden!

Diese peinliche Erkenntnis erarbeiten sich die Menschen mit beträchtlichem Spektakel. In den kapitalistischen Ländern kommt es immer wieder zu heftigen Auseinandersetzungen, die meist um so weniger objektiv ausfallen, je mehr man sich ereifert. Notwendig sind aber nicht hysterische Schwarzmalereien, sondern nüchterne Analyse und Einflußnahme. Der wissenschaftlich-technische Fortschritt bringt zudem nicht nur die Probleme, sondern auch die Mittel und Methoden hervor, mit denen diese Probleme gelöst werden können. Wie allerdings die Mittel und Methoden eingesetzt werden, ist keine Frage von Wissenschaft und Technik, sondern eine Aufgabe der Politik.

Sicherlich wäre es falsch, wenn man glauben machen wollte, daß die kapitalistischen Staaten Probleme des Umweltschutzes und der zweckmäßigen Nutzung der Naturressourcen ignorieren. Vielmehr wird durchaus erkannt, daß die zunehmende Einwirkung des Menschen auf die Natur immer mehr auch die kapitalistische Produktion bedroht. Dazu kommt das große Interesse der breiten Öffentlichkeit an diesen Fragen, wodurch ein nicht zu unterschätzender gesellschaftlicher Druck ausgeübt wird. Deshalb versuchen viele große Chemiekonzerne, die Initiative auf diesem wichtigen Gebiet durch entsprechende Aktionen und auch durch Investitionen in die Hand zu bekommen. Aber das Kapital kann die Probleme immer nur im Interesse des Kapitals (anstatt im Interesse der Allgemeinheit) lösen, und das heißt mit anderen Worten: Der Profit muß stimmen!

Die Ausbeutung der Natur, der gemeinsamen Quelle für alle Menschen und Wirtschaftszweige, erfordert eine koordinierte Planung und Lenkung der Wirtschaft im Interesse der gesamten Gesellschaft. Um den wirklichen Mittelbedarf zur Behebung und

Verhütung von Umweltschäden feststellen und ihn vor allem auch richtig zuordnen zu können, müssen künftig die Kosten der chemischen Produktion viel stärker unter volkswirtschaftlichen Aspekten berechnet werden. Bis heute weisen nämlich die Bilanzen der Chemiefabriken lediglich den Teil der Aufwendungen aus, der für die Industrieökonomie interessant ist, also Investitionen, Betriebskosten, Sozialausgaben, Steuern usw. Dabei erhöhen die industriellen »Nebenprodukte« Rauch und Ruß den Reinigungsaufwand in zahlreichen Haushalten. Schwefeloxide verursachen höhere Kosten bei der Gebäudeinstandhaltung und Nutzpflanzenproduktion. Sie verschlingen aber auch allernächst Geld durch Arbeitsausfälle und medizinische Behandlung erkrankter Menschen. Die ständig zunehmende Verschmutzung unseres Planeten und selbst eine auf den ersten Blick so harmlos anmutende Sache wie die Nährstoffanreicherung (Eutrophierung) unserer Gewässer wird früher oder später noch Mittel beanspruchen, von denen sich heute nur wenige eine Vorstellung machen können.

Dazu kommt, daß im Vergleich zu unseren Kenntnissen über die Herstellung von chemischen Verbindungen das Wissen über ihr Verhalten im pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismus oder auch im Boden und in der Atmosphäre oftmals nur sehr dürftig ist. In großem Umfang produzieren wir Substanzen, deren biologische Aktivität manchmal erst offenkundig wird, wenn nach jahrelanger Einwirkung überraschende Schäden auftreten. Die volkswirtschaftliche Analyse und Bewältigung aller dieser weitverzweigten Probleme ist eine Aufgabe, die nur unter sozialistischen Bedingungen ohne Selbstbetrug erfüllt und vor allem auch gelöst werden kann.

In den USA, auf deren Konto schätzungsweise nicht weniger als die Hälfte aller derzeit auf unserem Planeten verursachten Umweltgefährdungen gehen, müßten während der nächsten 10 bis 20 Jahre rund 100 Mrd. Dollar aufgebracht werden, um allein die Wasserverschmutzung auf das Niveau der heute bestehenden Vorschriften zu senken. Die auf Luftverunreinigungen zurückgehenden direkten Verluste betragen etwa 10 Mill. Dollar pro Jahr! Wie teuer ist denn nun wirklich die

chemische Produktion? Was immer das Rechenergebnis der Spezialisten auch sein mag, die eine Schlußfolgerung können wir sogar als Laien ziehen, nämlich:

Eine saubere Umwelt ist im Zeitalter der wissenschaftlich-technischen Revolution nicht mehr etwas Naturgegebenes, sondern sie wird uns noch ziemlich viel Geld kosten!

Auf der Suche nach einem Schuldigen an diesem fatalen Sachverhalt hat man in den kapitalistischen Ländern einen seriös anmutenden Ausweg gefunden. Man sagt einfach »Die Technik ist schuld!« Danach wäre die Verwüstung der Natur als obligatorischer Preis für das ökonomische Wachstum und für den Wohlstand der Industrieländer zu betrachten. Wenn wir dieser Überlegung folgen würden, so kämen wir zu der kuriosen Schlußfolgerung, daß die Zukunft des Menschen das Ergebnis der Entwicklung nicht etwa von Menschen, sondern von Maschinen ist!

Technikfeindlichkeit ist aber auch deshalb keine Lösung, weil der Mensch die Ausbeutung der Natur nicht einfach nach Belieben einstellen, ja noch nicht einmal reduzieren kann. Industrialisierung und Chemisierung sind für die Überwindung der ökonomischen Rückständigkeit auf unserem Planeten unerlässlich. Um jedoch nur den Bedarf eines einzigen modernen Menschen an notwendigen und weniger notwendigen Gütern befriedigen zu können, gräbt man jedes Jahr über 20 t Rohstoffe aus der Erde, die nicht bloß bei ihrer Gewinnung und Verarbeitung, sondern auch am Ende ihres Wegs durch die Hände der Menschen oft ziemlich unangenehme Spuren hinterlassen. So fand ein Bochumer Industrieller vor wenigen Jahren keine bessere und billigere (!) Abladestelle für etwa 15 000 Behälter mit Natriumcyanidabfällen (womit man beiläufig die gesamte Bevölkerung der BRD hätte umbringen können), als den jedermann zugänglichen Müllplatz der Stadt! Derartige und auch andere Umweltverwüstungen sind aber durchaus keine unabwendbare Folge des wissenschaftlich-technischen Fortschritts! Entscheidend ist vielmehr immer, wer in wessen Interesse und mit welchen Zielsetzungen die Natur ausbeutet. Geschieht das zum Wohle der Allgemeinheit, so werden sich auch Mittel und Methoden finden, um den Schaden dabei

möglichst gering zu halten. Dagegen wird das Privatinteresse mit seiner vordergründigen Erwägung des ökonomischen Vorteils immer und überall, wo es als Regulator wirkt, auch Schäden an der Umwelt herbeiführen – und das um so mehr, je weiter die Industrialisierung und Chemisierung auf unserem Erdball voranschreitet!

Manche Zeitgenossen allerdings sehen in der Technik nicht bloß einen Übeltäter, sondern zugleich auch den Retter aus der Not! Sie sagen: Gibt es erst abfallfreie Technologien, löst sich das Umweltproblem ganz von selbst. Nicht der Kapitalismus und nicht der Sozialismus, nein, die wissenschaftlich-technische Revolution wird die Erde von den Übeln der chemischen Produktion befreien! Diese Hoffnungen sind bei genauem Hinsehen nicht einmal unbegründet, falsch ist nur, sich die Entwicklung völlig unabhängig von den gesellschaftlichen Bedingungen vorzustellen. Das Verhältnis des Menschen zur Natur ist stets ein gesellschaftliches Verhältnis. Es hängt deshalb von der Art der Gesellschaft und von deren Entwicklungsstand ab, wie dieses Verhältnis gestaltet wird. Die wissenschaftlich-technische Revolution an sich kann weder die gesellschaftlichen Widersprüche lösen, noch ist sie in der Lage, den Konflikt der Gesellschaft mit der Natur aus der Welt zu schaffen!

Das ist auch der Grund, warum die Umweltkrise keine systemunabhängige Erscheinung ist, obwohl doch die Chemie im Kapitalismus ohne Zweifel nicht anders funktioniert als im Sozialismus! Aber dieselbe Technik, die in der Hand des Kapitals zu einer Gefahr für die Menschheit wird, zeigt, wenn sie im Interesse der gesamten Gesellschaft gelenkt wird, durchaus ein freundliches Gesicht! Deshalb kann die Natur langfristig und zuverlässig nur unter sozialistischen Bedingungen vor den negativen Auswirkungen der Industrialisierung und Chemisierung bewahrt werden.

Die umfangreichen Umweltschutzmaßnahmen der UdSSR auf Territorien von der Größe ganz Westeuropas, aber auch das Zusammenwirken der sozialistischen Länder im Rahmen des RGW demonstrieren überzeugend die Überlegenheit des Sozialismus auf diesem Gebiet. In allen RGW-Staaten gibt es weit-

reichende Bestimmungen zum Schutze der Umwelt, die auch für die Chemieindustrie verbindlich sind. So dürfen beispielsweise keine Fabriken mehr ohne die entsprechenden Reinigungsanlagen in Betrieb genommen werden.

Aber zahlreiche Umweltschwierigkeiten, mit denen wir heute noch kämpfen müssen, haben ihre Wurzeln in der Zeit des Kapitalismus, denn die moderne Technik ist oft noch in traditionelle Anlagenkomplexe integriert. Ebenso nachteilig wirkt es sich aus, daß wir vom Kapitalismus nicht bloß die technische Basis, sondern auch die alten, zählebigen Vorstellungen über das Verhältnis des Menschen zur Natur übernehmen mußten. Deshalb bedarf es auch unter sozialistischen Bedingungen großer Anstrengungen, um in allen Betrieben immer wieder ein umweltgerechtes Verhalten durchzusetzen.

Schon seit mehreren Jahren werden in die Produktionspläne unserer Chemiekombinate gesonderte Planteile für den Umweltschutz aufgenommen sowie Kontroll- und Sanierungsmaßnahmen mit den örtlichen Organen vereinbart. Auf diese Weise wird man die Probleme schrittweise auch in den alten Anlagen lösen können. Dabei gewährt der sozialistische Staat eine großzügige Hilfe, indem z.B. zusätzliche Mittel für Investitionen zur Verfügung gestellt und für Abwasseranlagen keine Produktionsfondsabgaben¹ erhoben werden. Zukünftig muß jedoch anstelle der heute noch überwiegenden Korrektur von Wirkungen die Bekämpfung von Ursachen in den Vordergrund treten. Das heißt mit anderen Worten: Ausarbeitung von umweltfreundlichen Technologien und geschlossenen Stoffkreisläufen, um Schäden von vornherein zu vermeiden, anstatt sie nachträglich mit großem Aufwand zu kompensieren.

Die Versäumnisse der Vergangenheit jedoch können auch im Sozialismus nur als Teil der gesellschaftlichen Gesamtentwicklung korrigiert werden. Dieser Prozeß erfordert Zeit und Geld, aber er stimmt mit den Grundsätzen

einer sozialistischen Wirtschaftsführung voll überein. Jeder ernsthafte Versuch zur paulschalen Überwindung der Umweltprobleme unter kapitalistischen Bedingungen muß dagegen mit den herrschenden Produktionsverhältnissen selbst in Konflikt geraten.

Das Verständnis für derartige Widersprüche und für die weitere Entwicklung der kapitalistischen Chemiewirtschaft wird deutlicher bei einem Blick auf die

Chemiemonopole, ihre Tradition und Perspektive

Die chemische Großindustrie entstand Mitte des 19. Jahrhunderts zuerst in Deutschland. 1850 wurden die Farbwerke Bayer in Leverkusen, 1862 die Hoechst Farbwerke und 1865 die Badische Anilin- und Sodafabrik in Ludwigshafen gegründet. Hohe Kapitalanlagen, der schnelle Ausbau großer Forschungseinrichtungen und eine raffinierte Patentpolitik führten im Laufe der folgenden Jahrzehnte zur Entwicklung von sechs beherrschenden Werken, die auch im internationalen Maßstab die Führung innehatten. Das waren neben den schon genannten Betrieben die Aktiengesellschaft für Anilinproduktion in Treptow bei Berlin (Agfa), Leopold Casella und Co. in Frankfurt am Main sowie Kalle und Co. in Biebrich. In England und Frankreich war die Chemieindustrie zurückgeblieben, die USA und Rußland hatten um 1900 überhaupt noch keine nennenswerte chemische Industrie entwickelt.

Die frühen deutschen Chemieunternehmen indes erwiesen sich schon als äußerst wohlgeratene Sprößlinge des Kapitals. Sie fertigten ihre Konkurrenten in einer derart gekonnten Manier ab, daß dies selbst einem internationalen Riesenmonopol aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zur Ehre gereicht hätte. Nach dem bis auf den heutigen Tag bewährten Rezept des Kapitals »verspeisen«² sie die relativ wohlhabenderen Unternehmen bei lebendigem Leibe, die schwächeren aber erschlugen sie einfach.

1904 schlossen sich Bayer, Agfa und die Badische Anilin unter der Führung von Carl Duisberg zusammen, um den Austausch von Forschungsergebnissen, das Vorgehen auf

¹ Produktionsfondsabgabe: Abführung der volkseigenen Betriebe an den Staatshaushalt. Wird berechnet mit einem staatlich festgelegten Prozentsatz von den im Durchschnitt beanspruchten produktiven Fonds (Grundmittel und materielle Umlaufmittel).

dem Markt und die Verteilung der Reingewinne zukünftig gemeinsam zu regeln. Noch im gleichen Jahr vereinigten sich die Hoechst Farbwerke und Casella, denen sich 1908 auch Kalle anschloß. So entstanden zwei starke Trusts, die sich im Jahre 1916 zu einer Interessengemeinschaft (IG) zusammenfanden. Ihr Hauptzweck war die Ausnutzung der Kriegslage zur Maximierung der Profite. Schon damals übte die IG einen maßgeblichen Einfluß auf die Politik des Staates aus. Unter anderem veranlaßte sie den deutschen Generalstab zum Beginn des Gaskrieges und stellte dafür 60 000 t Giftstoffe zur Verfügung.

Nach dem verlorenen ersten Weltkrieg begann man sofort mit der Reorganisierung der Betriebe. Und schon im Jahre 1925 wurde mit der IG-Farbenindustrie AG jenes verrufene Chemieungeheuer »aus der Taufe« gehoben, das später einen so verderblichen Einfluß auf die politische Entwicklung in der Welt haben sollte. Schnell gelang es der IG, auf alten und neuen Produktionsgebieten wieder eine international führende Stellung einzunehmen. Hervorragende wissenschaftliche Leistungen wurden konsequent monopolistisch verwertet. Außerdem führte man eine äußerst gerissene Patent- und Lizenzwirtschaft, mit deren Hilfe auf dem Weltmarkt starke Positionen erkämpft werden konnten. Nicht zuletzt aber praktizierte der Konzern eine raffinierte Marktaufteilungspolitik mit anderen Chemie-trusts, vor allem mit Standard Oil und Du Pont in den USA sowie mit den Imperial Chemical Industries (ICI) in England. So kam es, daß die IG-Farben in der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen größere Profite machte als irgend ein anderes deutsches Monopol. Dies ermöglichte es ihr, auch die politischen Geschicke des Landes entscheidend zu beeinflussen.

Zunächst verhalf die IG zusammen mit ihren Bundesgenossen aus den Bereichen Kohle und Eisen einem Kanzler an die Macht, der ihren Vorstellungen am besten entsprach. Dieser Mann ihres Vertrauens war Adolf Hitler. Allein im Jahre 1932/33 unterstützte der IG-Konzern die Nazis mit etwa 40 Mill. Reichsmark. Nach Kräften förderte er die faschistische Kriegspolitik, denn vom Krieg erhoffte man sich das größte Geschäft. Daß dies kein

leerer Gedanke blieb, dafür sorgten 24 IG-Direktoren in 81 wichtigen Staatsfunktionen.

Nach sorgfältig ausgearbeiteten Plänen schluckte die IG nahezu die gesamte chemische Industrie der von den Faschisten okkupierten Länder. Es gab jetzt eine »IG-Europa«, wie sie sich nicht einmal Duisberg hatte träumen lassen. 1942 schufteten 22 000 und 1945 sogar 102 000 ausländische Zwangsarbeiter in ihren Betrieben. Die Belegschaft des Bunalagers der IG betrug durchschnittlich 10 000 Häftlinge, die Todesziffer aber lag bei 120 000! Früher unterhielt die IG zur Erprobung pharmazeutischer Präparate kostspielige Versuchstieranlagen. Jetzt aber hatte man es ungleich einfacher, denn KZ-Häftlinge waren billiger als Kaninchen, und die IG-Präparate konnten dank der guten Beziehungen zur SS in Auschwitz oder anderswo »original« ausprobiert werden. Wen wundert es, daß die Gewinne der IG 1943 rund 16mal höher lagen als noch zehn Jahre zuvor?

Natürlich waren die großen Chemiekonzerne der westlichen Welt um keinen Deut besser als ihre deutschen Konkurrenten, mit denen sie durch das gemeinsame Klasseninteresse auch im Kriege verbunden blieben. Noch am 25. September 1939, also 24 Tage nach Beginn des Krieges, schlossen Standard Oil und die IG das Haager Abkommen, mit dem die Absatzmärkte neu verteilt wurden. Danach bekam die Standard Oil das britische und französische Kolonialreich, die USA und einen Teil des Nahen Ostens zugesprochen. Die IG begnügte sich in traditioneller Bescheidenheit mit dem übrigen Teil der Welt. Es ist ein Wunder, daß man sich die Mühe machte, den Vertrag auf den 1. September zurückzudatieren!

Schon vorher hatte die von der Standard Oil mitbeherrschte Ethyl Gasoline Corporation der IG eine für Jahre ausreichende Menge Bleitetraäthyl geliefert und auf diese Weise die Herstellung des für den geplanten Krieg dringend benötigten hochoktanigen Flugzeugbenzins¹ gesichert. Die IG revanchierte sich, indem sie der Standard Oil kurz vor dem Eintritt der USA in den Krieg die Eigentumsrechte

1 Hochoktaniges Benzin: Benzin mit einer hohen Klopfestigkeit.

an rund 2000 Patenten übertrug, die beiden Trusts gemeinsam gehörten.

Mit Hilfe des ehemaligen USA-Außenministers John Foster Dulles und seines nicht weniger berühmten Bruders Allan, der lange Jahre amerikanischer Spionagechef war, kamen verwickelte Abkommen zwischen der IG und der International Nickel Company zustande, die praktisch eine Unterstützung der deutschen Kriegsvorbereitungen bedeuteten. Verhandlungen der IG mit dem amerikanischen Aluminiumtrust über die Magnesiumproduktion hatten das merkwürdige Ergebnis, daß im Jahre 1940 in den USA 5700 t kriegswichtiges Magnesium erzeugt wurden, in Deutschland von der IG aber 19000 t!

Die faschistische Auslandsspionage in mehr als 50 Ländern ging zum erheblichen Teil über die auswärtigen Firmen und Vertriebsorganisationen der IG, die mit ihrem Berliner »Büro NW 7« einen hervorragend organisierten Nachrichtendienst besaß.

Nach der Vernichtung des Faschismus wurde der IG-Farbenkonzern zunächst einmal kräftig zur Ader gelassen. 40% seiner Produktionsstätten, die auf dem Territorium der späteren DDR lagen, gingen ihm verloren. Aber in dieser bedrohlichen Situation standen die alten Freunde hilfreich zur Seite. Sie ermöglichten es der Konzernleitung, die IG nach einem schon 1940 entworfenen Plan unter dem für Dumme bestimmten Schlagwort »Entflechtung« zu reorganisieren. Und siehe da, das alte zerschlossene Chemieungeheuer gebärte vor den Augen der erstaunten Welt drei tatendurstige Nachfolgerinnen. Das waren die Bayer AG, die Farbwerke Hoechst AG und die Badische Anilin- und Soda-Fabrik AG (BASF). Aber nicht nur die Firmennamen hatten ihren fatalen Beigeschmack behalten, nein, auch die Großaktionärsfamilien waren dieselben geblieben. Und um das Verfahren nicht unnötig zu komplizieren, bildeten sie gleich noch eine gemeinsame Finanzgruppe!

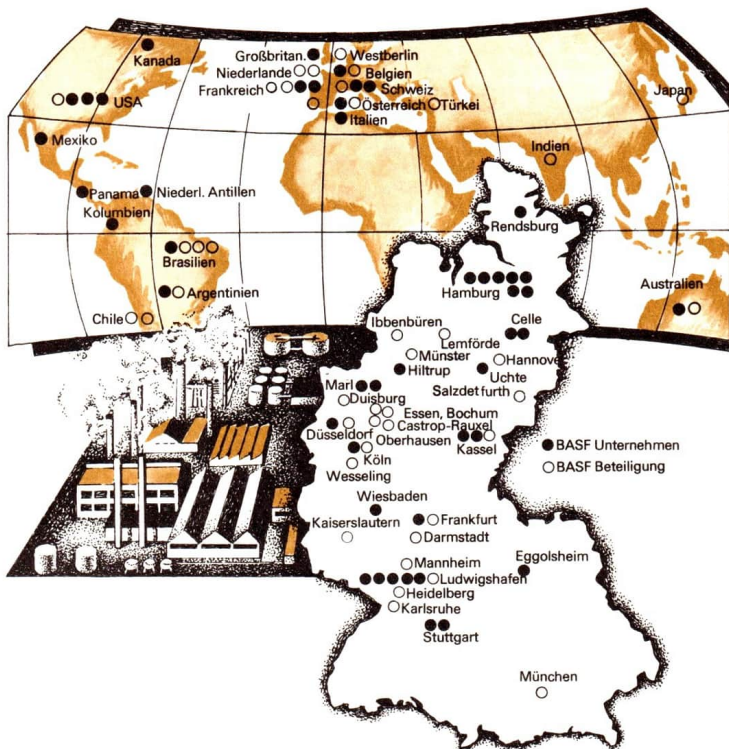
Diese drei Chemieschwester setzen die üblichen Traditionen der IG mit ungebrochener Tatkraft fort, und wahrlich, das Ergebnis ihrer Bemühungen kann sich sehen lassen! Jede einzelne der drei Nachfolgegesellschaften hat heute etwa die doppelte Beschäftigtenzahl und das mehrfache Produktionsvolumen der gesamten IG am Vorabend des zweiten Welt-

krieges. Durch den Aufkauf zahlreicher Unternehmungen wuchs die Beschäftigtenzahl der Gruppe von 1961 bis Ende 1970 um 188 000 auf 350 000, und der Umsatz erreichte etwa 34 Mrd. DM! Ende 1972 gab es in der BRD-Chemieindustrie noch 74 Aktiengesellschaften mit einem Nominalkapital von etwa 7,5 Mrd. DM. Davon entfielen auf die drei IG-Nachfolgerinnen ohne Tochter- und Beteiligungsgesellschaften rund 64%, mit den wichtigsten Inlandbeteiligungen aber nahezu 77%! Die Positionen dieser Großkonzerne innerhalb der Weltchemie werden ausreichend durch die nebenstehende Grafik charakterisiert. Mitte der 70er Jahre lag der Weltumsatz der IG-Schwester schon bei 60 Mrd. DM. Wer staunt da noch darüber, daß die drei IG-Nachfolgerinnen zur einflußreichsten Monopolgruppierung in der BRD und zu einer der stärksten in der Welt geworden sind? Wer wundert sich, daß die Chemie monopol der BRD heute wieder einen so starken Einfluß auf die Politik ausüben?

Im zweiten Weltkrieg war die BASF Hersteller von Zyklon B für Auschwitz und andere Konzentrationslager. Heute betreibt sie ähnliche Geschäfte mit den verbündeten USA-Konzernen, insbesondere mit der Dow und Monsanto. Allerdings sind das durchaus würdige Partner für die westdeutschen Chemiegehaltigen! Überall, wo Napalm gebraucht wird auf dieser Welt, da ist auch die Dow zur Stelle. So verdiente sie an ihrer Napalmproduktion für den schmutzigen Krieg in Vietnam allein im Jahre 1968 nicht weniger als 7 Mill. Dollar, und sie gehörte auch zu den ersten, die den Kampf des US-Telefonkonzerns ITT gegen die chilenische Unidad Popular mitfinanzierte.

Ein wesentlicher Faktor für die weitere Beschleunigung der Kapitalkonzentration ist das Wachstum von Forschung und Entwicklung. Die Monopole steuern deshalb unmittelbar auch die Wissenschaftspolitik ihrer Länder. So halten die IG-Nachfolgerinnen in der BRD nicht weniger als 70% aller Patente ihres Industriezweigs!

Auf den ersten Blick nicht so deutlich ist, daß die Riesenmonopole der Chemieindustrie auch die Hochschulforschung und darüber hinaus alle wissenschaftlichen Gesellschaften auf ihrem Gebiet beherrschen. Das erreichen



Das Weltreich der BASF, Beispiel für die Macht-
 ausdehnung der multinationalen Chemiekonzerne.
 Die BASF kontrolliert zur Zeit etwa 180 Toch-
 tergesellschaften außerhalb der BRD.

sie mit einer durchtriebenen Personalpolitik
 und mit Geld. Fast alle 40 Vorstandsmitglieder
 der drei IG-Nachfolgerinnen sind Honorar-
 professoren, Ehrensenatoren oder Ehrendok-
 toren von BRD-Universitäten. Finanzielle Zu-
 wendungen gehen nicht nur an Institutionen,
 sondern in Form von Honoraren, Dotationen,
 Aufwandsentschädigungen usw. ebenso an
 leitende Einzelpersonen.

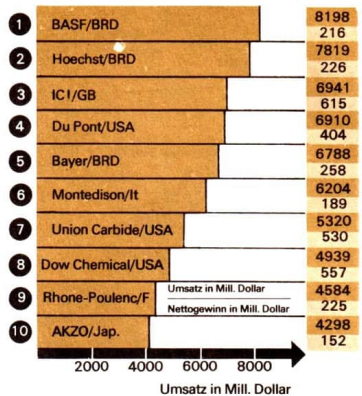
Die Monopolisierung der chemischen Wis-
 senschaft wird schließlich auch durch die
 staatliche Patentgesetzgebung unterstützt.
 Mit dem durch das aktualisierte BRD-Patent-
 gesetz vom 1.1.1968 ermöglichten Schutz
 neuer Stoffe, die wegen der ständig größer
 werdenden Aufwendungen sowieso nur noch
 von den kapitalkräftigsten Betrieben entwik-
 kelt werden können, erringen diese Unterne-
 men ein uneingeschränktes Monopol.

Für die weitere Stärkung der kapitalisti-
 schen Chemieindustrie spielt die mit einer
 verstärkten Zentralisation verbundene ver-
 tikale Konzentration, d. h. die Verschmelzung
 mit anderen Zweigen, eine maßgebliche

Rolle. So ist Ende der 60er bis Anfang der 70er Jahre der Aufkauf kleiner, mittlerer und in jüngster Zeit auch relativ großer Unternehmen durch die mächtigen Chemiemonopole stark angestiegen. Allein im Zeitraum von 1965 bis 1969 schluckte die BASF neun bedeutende Unternehmen aus den Produktionsbereichen Kali, Erdgas, Erdöl, Chemiefasern, Pharmazeutika, Lacke und Polyurethanschäume, die im Jahre 1969 einen Umsatz von insgesamt 3,2 Mrd. DM machten. Der Erwerb von Aktienbeteiligungen führte zur Herausbildung riesiger Wirtschaftskomplexe, die gewaltige Produktionskapazitäten aus verschiedenen Industriezweigen in sich vereinen. Deshalb werden in zunehmendem Maße weite Bereiche der kapitalistischen Wirtschaft durch das starke Potential der mächtigen Chemiekonzerne beherrscht. Dies festigt nicht nur ihre marktbestimmenden Positionen, sondern auch ihre politische Rolle im staatsmonopolistischen System.

Natürlich entstanden die Chemiemonopole auf der Grundlage einzelner Länder. Relative Kapitalüberschüsse wurden zunächst nur in Form zinsbringenden Leihkapitals im Ausland angelegt. Erst nach dem zweiten Weltkrieg gewann der Export profittragenden Kapitals (Direktinvestitionen) die Oberhand. Gleichzeitig ging die Bedeutung der weniger entwickelten Länder als Kapitalimporteure zurück, und heute fließen 60 bis 70 % der direkten Auslandsinvestitionen in die Industrieländer. Diese Prozesse werden dadurch beschleunigt, daß die rasche Entwicklung der Produktivkräfte auch unter kapitalistischen Bedingungen auf eine stärkere Arbeitsteilung und Integration drängt, wobei der Druck durch die Systemkonkurrenz mit dem sozialistischen Lager noch verstärkt wird. Auf der Grundlage dieser Entwicklung wuchs sich das nationale zum international organisierten Monopol aus. Die Entstehung multinationaler Konzerne und staatsmonopolistischer Integrationsgebilde (wie z. B. der EWG) als Mittel zur Überwindung der für das Wachstum der Produktivkräfte zu eng gewordenen nationalen Grenzen sind charakteristische Merkmale der fortschreitenden Monopolisierung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

Die multinationalen Riesenmonopole, die sogenannten »Multis«, verfügen heute über



Die 10 größten kapitalistischen Chemiekonzerne im Jahre 1974.

ein ausgedehntes Netz von Produktions-, Handels- und Finanzfilialen in anderen Staaten mit einem starken Zentrum im Basisland. Ihre modernen Betriebe ziehen die qualifiziertesten Arbeitskräfte an, deren Löhne nichtdestoweniger niedriger als im Mutterland gehalten werden können. So hat man in den USA errechnet, daß die Kosten für Arbeitskräfte im Ausland durchschnittlich nur 65 % der Aufwendungen im eigenen Lande ausmachen. Die Multis stürzen Hunderte kleiner Betriebe in den Ruin und beschleunigen so die weitere Konzentration der Produktion. Von der Wirtschaftspolitik der Multis sind heute die Reproduktionsprozesse ganzer Länder abhängig. Ihr gewaltiges Machtpotential ermöglicht es ihnen, im Falle von Konflikten mit Gewerkschaften oder Regierungen bestimmte Betriebe sofort in ein anderes Land zu verlegen und damit dem Kontrahenten große Schwierigkeiten zu bereiten. So verlagerte z. B. der Shellkonzern sein Forschungszentrum in Egham (England) unversehens nach Holland, wobei er die kurzfristige Entscheidung darüber freundlicherweise zunächst im holländischen Fernsehen und erst einen Tag später seinen eigenen Mitarbeitern bekannt-

gab. Die unausbleiblichen Massenentlassungen waren den Ölherrn gleichgültig. Ebenfalls aus Profitgründen hat die Monsanto Chemical 1974 ihre Forschungsabteilungen in Nordwales geschlossen, um sie nach Belgien zu verlagern, wo sie günstigere – sprich profitablere – Bedingungen vorfand.

Es versteht sich, daß die Chemieindustrie auf dem profitträchtigen Wege der kapitalistischen Integration neben Mineralöl und Elektronik voranschreitet. So verfügen heute die IG-Farbenachfolgerinnen über ein ausgedehntes Netz von internationalen Beteiligungsgesellschaften. Die jährlichen Auslandsinvestitionen der expansiven USA-Chemie sind zwischen 1960 und 1970 im Weltmaßstab auf das Fünffache angewachsen, während sie sich in der EWG als dem zweitgrößten Produzenten und Verbraucher von Chemieerzeugnissen im kapitalistischen Wirtschaftsbereich sogar verzehnfacht haben. Im Jahre 1971 wurden mehr als 35% (561 Mill. Dollar) der amerikanischen Auslandschemieinvestitionen in der EWG getätigt. Hinter diesen Ziffern stehen besonders die großen Konzerne wie Du Pont, Dow, Monsanto und Union Carbide, die vorzugsweise in den profitintensiven Bereichen Pharmazie und Kosmetik sowie Kunststoffe und Kunstfasern wirksam werden. Langfristig wird erwartet, daß sich die Wachstumsraten der USA-Chemieinvestitionen in der EWG an die der EWG selbst angleichen werden.

Natürlich sichert die Entwicklung der Multis eine höhere Elastizität der Produktion und damit auch eine größere Unabhängigkeit von der Wirtschaftslage und der politischen Situation im einzelnen Land. Ihre Lebensfähigkeit ist deshalb größer als die der nationalen Monopole. Sie werden als eine Art »Puffer« betrachtet, mit denen man einschneidende Wirtschaftskrisen recht gut überstehen kann. So machte z.B. die eng mit der Chemie verflochtene British Petrol im Krisenjahr 1973 das bis dahin beste Geschäft aller Zeiten, indem sie den Profit auf das 3,5fache steigern konnte. Bei den IG-Nachfolgerinnen wurden (ohne »Auslandstöchter«) offizielle Profitzuwachsrate in der Größenordnung von 20% ausgewiesen. Im Krisenjahr 1974 betrugen die Profitziffern der Bayer-AG 305,6 Mill. DM, bei Hoechst 246,9 Mill. DM und bei der BASF



Die wirklichen Herren im kapitalistischen Staat sind die Chefs der multinationalen Riesenkonzerne. Das Schaubild zeigt Monatsgehälter im Jahre 1973.

246,6 Mill. DM. Die Konzernprofite in den USA stiegen 1973/74 um durchschnittlich 62%, aber die Reallöhne sanken um 9%. Die Tatsachen zeigen also, daß sich die großen Öl- und Chemiekonzerne auch in Zeiten schwerer Wirtschaftskrisen, in denen Millionen von Werktätigen ihren Arbeitsplatz verlieren, nicht nur schlechthin über Wasser halten, sondern Höchstprofite erzielen, und das, obwohl sie nicht mehr, sondern weniger Benzin und Chemikalien verkaufen!

Theodore Levitt, ein bekannter Theoretiker des amerikanischen »Big Business«, sagte Anfang der 70er Jahre mit zynischer Offenheit: »Wohlfahrt und Gesellschaft sind nicht Sache der Unternehmer. Ihre Sache ist es, Geld zu machen.« Das mag sein, dafür aber sind Wohlfahrt und Gesellschaft um so mehr Sache der Arbeiterklasse und aller fortschrittlichen Kräfte der Welt. Die Klassenziele der Monopole sind also den Interessen der Arbeiterklasse diametral entgegengesetzt. Deshalb auch ist die gesamte Wirtschaftsgeschichte der Chemieindustrie unter kapitalistischen Produktionsverhältnissen durch eine ununterbrochene Kette scharfer Klassenauseinandersetzungen gekennzeichnet. Zwar führt der wissenschaftlich-technische Fortschritt auch im kapitalistischen Chemiebetrieb zu Verbesserungen im Arbeitsprozeß, aber diese Fortschritte dienen der Machterweiterung des Kapitals und der Ausbeutung der Arbeiterklasse. Anstatt zu einer allgemei-

nen und kontinuierlichen Hebung des Lebensniveaus führen sie zu Inflation, Umweltzerstörung und verstärkter Arbeitsplatzunsicherheit, denn die Realisierung des Profits bleibt nach wie vor die Haupttriebkraft des ökonomischen Kampfes der Chemiemonopole. Vor den kapitalistischen Industrieländern liegt deshalb noch eine lange Kette von wirtschaftlichen Eruptionen, in deren Zentrum stets auch die monopolistische Chemieindustrie mit ihren gewaltigen Konzentrationspunkten von Kapital und Arbeit liegen wird.

Die internationalen Mammutkonzerne aber werden sich immer mehr zur Hauptkraft des Weltimperialismus und damit zum Hauptfeind der Arbeiterklasse entwickeln. Daraus ergibt sich, daß der kapitalistische Konzern nicht die Perspektive der Chemieindustrie auf unserem Erdball sein kann. Seine Überwindung erfordert die Umwandlung der Betriebe aus Instrumenten der Profitmaximierung in volkswirtschaftliche Grundeinheiten zur Mehrung des Wohlstandes der gesamten Gesellschaft. Es versteht sich von selbst, daß diese Aufgabe nur mit der Aufhebung des kapitalistischen Systems selbst gelöst werden kann. In einem Teil der Welt ist das bereits geschehen, und die Chemie schreitet hier auf neuen Wegen voran, denn

Sozialistische Integration eröffnet neue Horizonte!

Unter den Bedingungen der wissenschaftlich-technischen Revolution ist die internationale ökonomische Integration zu einer objektiven Entwicklungstendenz geworden. Das gilt sowohl für die kapitalistische als auch für die sozialistische Wirtschaft. Trotzdem sind kapitalistische und sozialistische Integration ebenso grundverschieden wie es die Gesellschaftsordnungen sind. Jede hat eigene Ziele, Methoden und Organisationsformen. Die kapitalistische ökonomische Integration wird von den spontan wirkenden Gesetzen des Konkurrenzkampfes und des kapitalistischen Marktes bestimmt. Sie zielt auf eine Festigung der Macht der großen Monopole ab. Die sozialistische ökonomische Integration dagegen ist ein bewußt und planmäßig auf gleichartiger ideologischer Grundlage gesteuerter

Prozeß zur schnellen Entwicklung der Produktivkräfte. Ihr Hauptziel ist die Hebung des materiellen Lebensniveaus der beteiligten Völker.

Die internationale Zusammenarbeit in einer neuen, bis dahin nicht bekannten Qualität begann eigentlich schon im Jahre 1917, denn der erste sozialistische Staat der Erde, die Sowjetunion, verfolgt seit dem Tage seiner Gründung eine konsequente Politik der friedlichen Koexistenz. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Politik war und ist das Streben nach allseitigen Handelsbeziehungen und wissenschaftlicher Zusammenarbeit. Dabei spielte von Anfang an auch die Chemie eine wichtige Rolle.

Der erste deutsche Wissenschaftler, der nach der Oktoberrevolution (im Jahre 1922) Sowjetrußland besuchte, um die Möglichkeiten einer Zusammenarbeit zu prüfen, war der durch sein Lehrbuch auch in Chemikerkreisen bekannte Berliner Experimentalphysiker Wilhelm Westphal. Nach seiner Reise sagte er: »Wer in Deutschland verändern will, muß die Entwicklung in der Sowjetunion verfolgen.« Am 15. Juni 1922 wurden in Berlin zum ersten Male drei sowjetische Chemieprofessoren als Gäste der »Deutschen Chemischen Gesellschaft« begrüßt. Diesen Kontakten folgten bald weitere. An die deutschen Universitäten kamen zahlreiche Sowjetbürger, um die reichen Erfahrungen der deutschen Chemie zu studieren. So hatte der bekannte Physikochemiker Wilhelm Ostwald in Leipzig zahlreiche sowjetische Schüler, die ihm noch lange Zeit ein freundliches Andenken bewahrten. Im Jahre 1925 nahm eine deutsche Wissenschaftlerdelegation, zu der neben dem Physiker Max Planck auch Chemiker gehörten, an der 200-Jahr-Feier der sowjetischen Akademie der Wissenschaften teil.

Eine neue Etappe der Zusammenarbeit begann 1926 mit der Proklamierung der sozialistischen Industrialisierung in der UdSSR. Dabei kam der chemischen Industrie eine große Bedeutung zu. Zahlreiche Produktionsstätten und Forschungsinstitute wurden gegründet, wofür man konsequent auch die Erfahrungen der imperialistischen Industriestaaten nutzte. Damals gingen viele Wissenschaftler, Ingenieure und Facharbeiter, darun-

Austausch von Chemieerzeugnissen sowie Roh- und Brennstoffen zwischen der DDR und den sozialistischen Bruderländern.

Export nach →		← Import aus	
DDR		Kuba	
Anorgan. Grundchemikalien, PSM		Nickel u. Kobaltprodukte	
Fotochemikalien, Kautschuk, Textilien, Kalidünger, PSM		VR Polen	
Chemieausrüstungen, Kautschuk, PSM, Fotochemikalien, Glas u. Keramik, chem. Hilfsmittel, Textilien		Koks, Steinkohle, Schwefel, Medikamente	
Kalidünger, Medikamente, Fotochemikalien, Plaste, Textilien		UdSSR	
Kalidünger, PSM, Fotochemikalien, Glas u. Keramik		Erdöl, Erdgas, Zellstoff, Walzstahl, Steinkohle, Phenol, Asbest, Phosphate, Baumwolle, Zink, Schnittholz, Kupfer, Aluminium, Eisenerz	
Fotochemikalien, K.-Dünger, Kautschuk		ČSSR	
Chemikalien, Glas u. Keramik, Textilien		Steinkohle, Koks, Stahl	
Versch. Chemikalien		VR Ungarn	
		Bauxit, Aluminium, Medikamente	
		SR Rumänien	
		Petrochemikalien, Anorg. Chemikalien, Sulfatzellstoff, Schnittholz	
		SFR Jugoslawien	
		Bauxit, Schnittholz, Zink, Papier	
		Mongol. Volksrepublik	
		Wolframerzkonzentrate	

ter nicht wenige Chemiker, die in Deutschland keine Arbeitsmöglichkeiten fanden, in die Sowjetunion. Dieser Spezialistenstrom verstärkte sich in den Jahren der Weltwirtschaftskrise (1929 bis 1932), die den kapitalistischen Industrieländern Inflation und riesige Arbeitslosenheere bescherte, während sich die Sowjetunion auf der Grundlage ihrer sozialistischen Planwirtschaft kontinuierlich aufwärtsentwickelte.

Wichtige Ereignisse zur Vertiefung der Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften waren die »Deutsch-russische Naturforscherwoche« im Juni 1927 in Berlin und die »Woche der deutschen Technik« im Januar 1929 in Moskau. Der deutschen De-

legation gehörte unter anderem der bekannte Chemiker Franz Fischer vom Kohleforschungsinstitut Mülheim/Ruhr an, dessen Verbindungen zur Sowjetunion sich in den Folgejahren bis 1932 sehr eng gestalteten, weil seine Arbeiten über die Chemie der Kohle und des Torfes für die Sowjetunion von großem Interesse waren. Allein in den Jahren 1929 bis 1931 wurden von deutschen Spezialisten in der UdSSR 112 Vorträge gehalten. Zu den Referenten gehörten Fachleute aus den Gebieten der Kohle- und Torfchemie, der Silikatchemie, der Zement- und Zelluloseherstellung, der Elektrochemie und der Kunstfaserchemie. 1931 und 1932 fanden gemeinsame Konferenzen über Fragen des Korro-

sionsschutzes statt. Der Zellulosechemiker Kurt Hess, der 1932 am VI. Allunions-Mendelejew-Kongreß teilnahm, sagte damals: »Wir deutschen Chemiker fühlen uns mit den Chemikern der Sowjetunion eng verbunden. Wir freuen uns über ihre Erfolge und verfolgen aufmerksam ihre Arbeit ... Weitere Begegnungen werden dazu beitragen, die Wissenschaftler der einzelnen Länder noch enger zusammenzuführen, zum Wohle der Menschheit, zum Wohle des Friedens.« Professor Rammler, der spätere Miterfinder des Braunkohle-Hochtemperatur-Koks (BHT-Koks)-Verfahrens, der ebenfalls 1932 in der Sowjetunion weilte, schrieb nach seiner Rückkehr: »Die Sowjetunion lernt heute von uns, in zwanzig Jahren werden wir von der Sowjetunion lernen.«

Im Jahre 1933 kamen mit tatkräftiger Finanzunterstützung der großen Chemiekonzerne in Deutschland die Faschisten an die Macht. Die deutsch-sowjetischen Beziehungen kühlten sich ab, und 1937 wurde »jeder wissenschaftliche Schriftverkehr deutscher Gelehrter mit wissenschaftlichen Stellen oder Gelehrten in der Sowjetunion« von den Faschisten untersagt.

Nach dem Zusammenbruch des Deutschen Reiches erwiesen sich auf dem Gebiet der Chemie nicht wenige der in den 20er und Anfang der 30er Jahre entstandenen Kontakte als dauerhaft. Sie bildeten eine der Grundlagen für die Entwicklung wahrhaft neuer Beziehungen. Unter der weitsichtigen politischen Führung der SED wuchs in der DDR allmählich auch das verschüttete Interesse der Chemiker an den Arbeiten ihrer sowjetischen Fachkollegen. Bald erschienen die ersten sowjetischen Fachbücher in deutscher Übersetzung: Kassatkins »Chemische Verfahrenstechnik«, Nekrassows »Lehrgang der allgemeinen und anorganischen Chemie« und viele andere danach.

Die auf dem Boden der heutigen DDR gelegenen, weitgehend zerstörten chemischen Großbetriebe des deutschen Monopolkapitals waren nach dem Zusammenbruch des Faschismus als Reparationsleistung in das Eigentum der UdSSR übergegangen. Sie wurden als Staatliche Aktiengesellschaften (SAG-Betriebe) wieder aufgebaut und modernisiert, bis sie in der ersten Hälfte der 50er Jahre

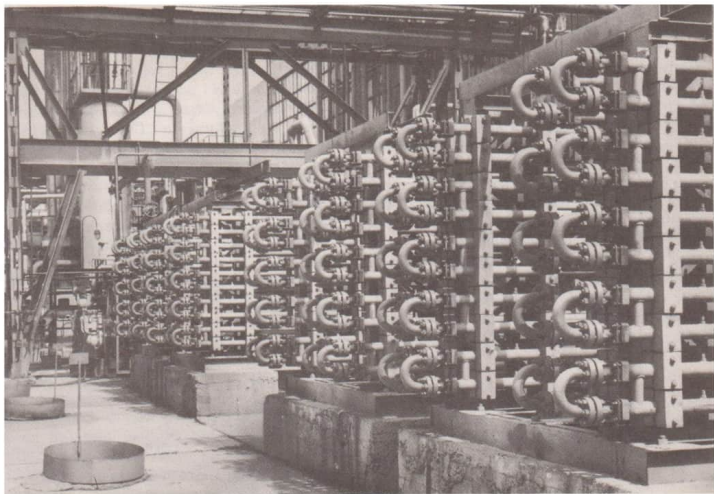
unentgeltlich an die DDR übergeben wurden. In diesen Betrieben wuchsen unter der brüderlichen Führung sowjetischer Kommunisten die ersten sozialistischen Leitungskader unserer neuen Chemieindustrie heran.

Im Jahre 1951 wurde zwischen der UdSSR und der DDR das erste Regierungsabkommen über wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit abgeschlossen, nachdem die DDR schon ein Jahr zuvor dem 1949 gegründeten »Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe« (RGW) beigetreten war. Aus diesen Anfängen entwickelte sich im Verlauf zweier Jahrzehnte eine Zusammenarbeit, deren Früchte heute auch von unseren Gegnern nicht mehr übersehen werden können.

Ein Höhepunkt der bisherigen RGW-Arbeit war die Annahme des Komplexprogramms der sozialistischen ökonomischen Integration auf der 25. Tagung des RGW im Jahre 1971. Dieses Dokument ist das Programm für die Entwicklung der Zusammenarbeit der sozialistischen Länder für die nächsten 15 bis 20 Jahre. Es leitete auch die gegenwärtige Etappe ein, deren wesentlichste Aufgabe in der umfassenden und planmäßigen Verflechtung unserer Volkswirtschaften besteht. Dieser Prozeß umfaßt alle Stufen der Spezialisierung und Kooperation, von der Forschung und Entwicklung über die Projektierung bis zur Realisierung der Objekte. Zur Lösung der speziellen Probleme werden zwei- und mehrseitige Verträge abgeschlossen, deren Verwirklichung von bisher 44 Koordinierungszentren geleitet und überwacht wird.

Die ständige Kommission für Chemie des RGW arbeitet nach Programmen, die jeweils für ein Planjahr fünf bestätigt werden. Unter den gegenwärtigen Hauptthemen befinden sich Aufgaben wie

- die Sicherung des RGW-Bedarfs an Mineraldüngemitteln, Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln,
- die rasche Entwicklung der Petrochemie, insbesondere auch der von ihr abhängigen Folgeproduktionen wie Polyolefine, Polyvinylchlorid, Polystyrol und anderer »großtonnagiger« Plaste,
- die Produktion bekannter und neuer Kautschuktypen, darunter besonders von Isoprenkautschuk,



Teilansicht der Anlage „Polymir 50“ in Nowopolozk, die in sozialistischer Gemeinschaftsarbeit zwischen UdSSR und DDR entstand. Der Zwillingssbruder »Polymir 60« befindet sich in Leuna im Bau.

- die Ausarbeitung neuer technologischer Prozesse für die Herstellung von Chemiefasern einschließlich der dazu erforderlichen Rohstoffe (insbesondere von Kaprolaktam, Terephthalsäure, Äthylenglykol und Akrylnitril),
- die Kooperation und Spezialisierung bei Erzeugnissen der Haushaltchemie.

Bis 1974 unterbreitete die ständige RGW-Kommission für die chemische Industrie Vorschläge zur Spezialisierung von über 270 Erzeugnisgruppen. Sie betrafen die Produktion bestimmter Kautschuk- und Kunststoffsorten ebenso wie 50 verschiedene Lacke und Farben, 75 pharmazeutische Produkte, 11 Gruppen von Textilhilfsstoffen sowie 9 Warengruppen der Haushaltchemie. Diese Vorschläge waren und sind die Basis für zahlreiche Vereinbarungen von DDR-Institutionen mit ihren Partnern in den sozialistischen

Ländern. Allein im Jahre 1974 waren auf dem Gebiet der Chemie im RGW-Rahmen 18 Regierungsabkommen, rund 40 Verträge über die direkte Zusammenarbeit von wirtschaftsleitenden Organen sowie mehr als 30 Abkommen zur Spezialisierung und Kooperation der Produktion in Arbeit.

Gemeinsam von der UdSSR und DDR wurde seit Ende 1969 ein automatisiertes Verfahren für die Polymerisation von Äthylen bei Drücken bis 2500 bar und für Kapazitäten von 50 bis 60 kt je Polymerisationslinie entwickelt. Die neue Technologie läßt eine Steigerung der Arbeitsproduktivität auf das Doppelte zu, und obendrein werden Energie und Nebenkosten eingespart. Das Verfahren ist unter der Bezeichnung »Polimir 50« bekannt geworden. Die erste Anlage wurde bis Ende 1974 in Nowopolozk errichtet, die zweite entsteht gegenwärtig in Leuna.

Ein anderes wichtiges Integrationsobjekt war der Aufbau eines Betriebes für die Herstellung von Polyesterfasern auf der Grundlage einer neuen Technologie mit einer Jahreskapazität von 24 000 t im Synthe-

sefaserkombinat Mogiljow, wobei die DDR den Chemieteil und die UdSSR den Spinn- und Textilteil lieferte.

Gemeinsam wurde auch an einem neuen Verfahren zur Produktion von Polyamidseide gearbeitet, das durch eine verringerte Anzahl von Prozeßstufen sowie kontinuierliche Gestaltung wesentliche Kosteneinsparungen und Qualitätsverbesserungen bringt. Die kooperative Entwicklung eines Maschinensystems für Polyamidvliesstoffe ermöglicht die Einsparung der Arbeitsgänge Spinnen und Weben, wodurch der Anteil an lebendiger Arbeit im Vergleich zu gew. Textilflächen auf ein Achtel herabgesetzt werden kann.

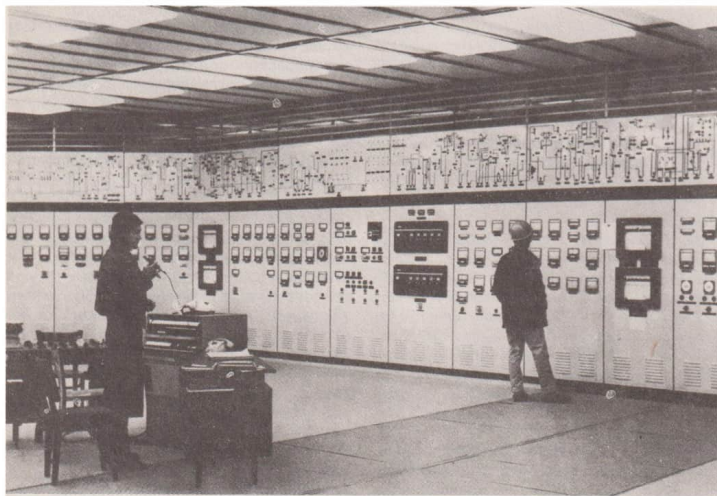
Bis 1975 entstand unter Beteiligung insbesondere von Spezialisten aus Polen und der CSSR in Piesteritz eines der größten Stick-

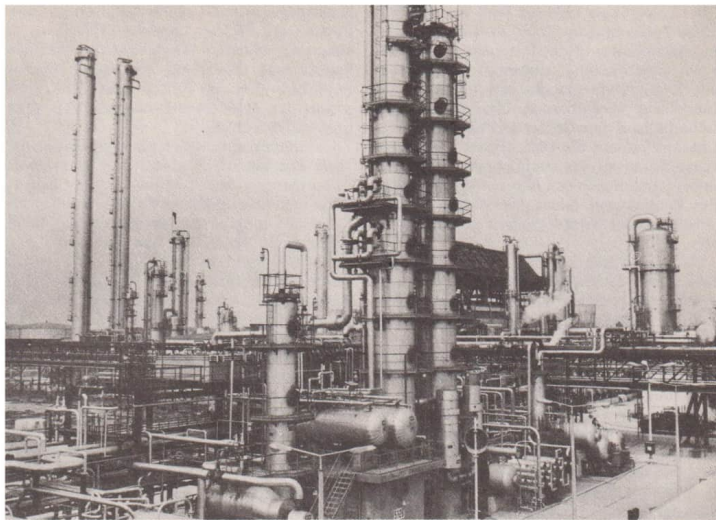
stoffdüngemittelwerke der Welt, in dem sowjetisches Erdgas zu Ammoniak und Harnstoff umgewandelt wird.

Sowjetische und tschechoslowakische Chemiker arbeiten an der Entwicklung industrieller Elektrolyseure mit Quecksilberkathoden zur Herstellung von Chlor und Natronlauge. Außerdem werden neue Anlagen zur Brenzkatechinproduktion mit Kapazitäten bis 1000 t pro Jahr sowie zur Anthrachinonherstellung mit Leistungen bis 3000 t pro Jahr geschaffen. Die erste Anthrachinonanlage (600 t pro Jahr) wurde 1973 in der UdSSR angefahren. Hervorragende Bedeutung hat auch die arbeitsteilige Entwicklung neuartiger Kugelreaktoren hoher Leistung mit Wirbelschichtkatalysatoren für die Ammoniak-synthese.

Ungarische und sowjetische Chemiker sind mit dem Aufbau großer Kapazitäten für die Olefinproduktion und deren Weiterverarbeitung beschäftigt. Dazu ist in den Tiszaer Chemiewerken eine Olefinanlage mit einer Jahresleistung von 250 kt Äthylen und 130 kt Propylen gebaut worden, die seit 1975 im

Schaltzentrale für eine Polypropylenanlage im petrochemischen Kombinat Plock, VR Polen. Die DDR wird vorerst kein Polypropylen herstellen, sondern ihren Bedarf durch Importe, u. a. auch aus Polen, decken.





Blick auf den Olefinkomplex Böhlen, das größte Integrationsobjekt unserer Chemieindustrie in den letzten Jahren. Hier werden Olefine aus sowjetischem Erdöl produziert.

Austausch gegen PVC zehn Jahre lang Äthylen (durch eine 200 km lange Pipeline) und Propylen (mit Hilfe von Tankwagen) ins westukrainische Chemiekombinat Kalusch liefern wird. In einer zweiten Ausbauphase werden dann Verarbeitungsanlagen in Ungarn und Olefinkapazitäten in Kalusch errichtet. Gemeinsam wurde auch eine Methode zur einstufigen Hydrierung von Phenol zu Kaprolaktam ausgearbeitet und bereits in die Praxis überführt. Ferner untersucht man die Projektierungs- und Konstruktionsprinzipien automatischer Hochleistungsanlagen für die Chemieindustrie mittels mathematischer Modelle.

Bulgarische und sowjetische Chemiker entwickeln neue langlebige Niedertem-

peraturkatalysatoren für die Konvertierung¹ von Kohlenmonoxid. Sie befassen sich mit der Herstellung von qualitativ verbesserten Chemiefasern und von Chemikalien hoher Reinheitsgrade.

Für die VR Polen sind die mit der Sowjetunion betriebenen Arbeiten zum unterirdischen Schmelzen von Schwefel sowie zur Entwicklung der Schwefelchemie, aber auch Forschungen über glasfaserverstärkte Plaste sowie über Farbstoffe besonders wichtig.

Polen und die ČSSR wirken auf dem Gebiet der Agrochemie sowie der Produktion von Gummierzeugnissen eng zusammen. Beide Länder führen mit der DDR gemeinsame Arbeiten zur Entwicklung der Kalichemie durch.

1 Konvertierung = Reaktion zwischen Kohlenmonoxid und Wasserdampf unter Bildung von Kohlendioxid und Wasserstoff bei 500°C in Gegenwart von eisenhaltigen Katalysatoren. Kupferkatalysatoren ermöglichen jetzt eine Reaktionsführung bei 300°C.

In der Zeit von 1971 bis 1975 wurden zwischen Polen und der DDR elf Verträge über die Spezialisierung der Produktion verschiedener chemischer Substanzen abgeschlossen. Einer davon ist die seit 1972 in Kraft befindliche Vereinbarung über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Pflanzenschutzmittel mit einem bis 1985 abgestimmten Arbeitsprogramm. Von den bereits abgerechneten Ergebnissen soll hier nur die erfolgreiche Entwicklung neuer Insektizide zur Bekämpfung des Kartoffelkäfers genannt werden.

Die Spezialisierung und Kooperation auf dem Sektor der Zwischenprodukte und Farbstoffchemie zwischen ČSSR, DDR und Ungarn umfaßt bereits etwa 2000 Einzelerzeugnisse.

Der gemeinsame Aufbau einer Olefinchemie durch die DDR und die ČSSR ist das bisher bedeutendste Vorhaben unserer chemischen Industrie im Rahmen des Komplexprogramms. Die Realisierung einer 300-kt-Äthylenanlage im Planjahr fünf bis 1975 war der entscheidende Schritt zur Umprofilierung der chemischen Werke in Böhlen. Das Aufkommen der DDR an Äthylen, Propylen und Butadien konnte dadurch nahezu vervierfacht werden. Damit wuchsen auch die Voraussetzungen für eine schnellere Erhöhung der Produktion von petrochemischen Zwischenprodukten und Plasten. Die gleichzeitige Errichtung der dazu notwendigen Verarbeitungsanlagen in der DDR hätte aber die Investitionskraft unserer Chemieindustrie weit überfordert. Deshalb wird Böhlen nicht nur die Leuna- und Bunawerke, sondern über eine internationale Pipeline (mit 60 % seiner Olefinproduktion) ebenso die chemischen Werke Zaluži in der ČSSR versorgen, die ihrerseits unsere Republik mit Polyäthylen und Polypropylen beliefern werden. Nach der Errichtung eines entsprechenden Olefinkomplexes in der ČSSR ist eine Kooperation in umgekehrter Richtung vorgesehen.

Ein weiteres großes Äthylenprojekt dieser Art befindet sich in Timișoara (SR Rumänien) bzw. in Pančevo (SFR Jugoslawien) im Bau.

Alle diese Vorhaben sind Bestandteile des großen Olefinprogramms der sozialistischen Länder, nach dem ein System von Äthylenleitungen bis zum Jahre 1990 die Produktions-

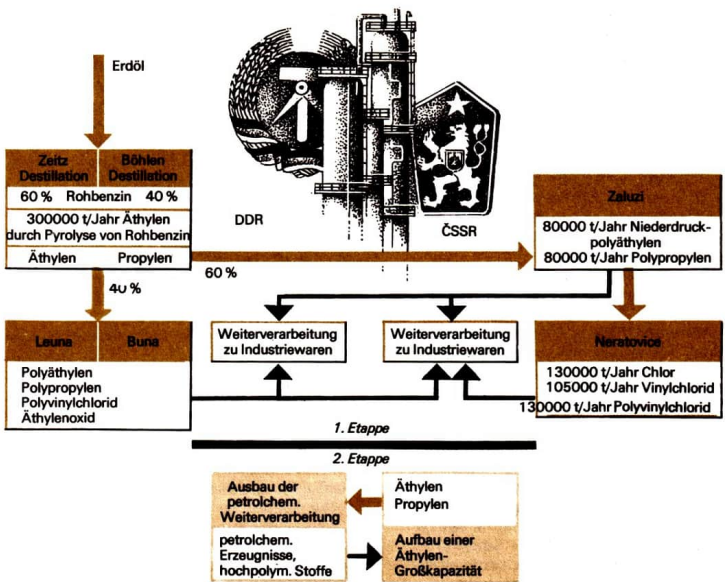
kapazitäten von 19 petrochemischen Kombinat mit 66 verarbeitenden Betrieben zu einem einheitlichen Ring verbinden wird. Die Realisierung dieses internationalen Produktionskomplexes ist für den weiteren Fortschritt der RGW-Chemieindustrie von allergrößter Bedeutung.

Natürlich erstreckt sich die Kooperation der sozialistischen Länder auch auf Maschinen, Ausrüstungen und Anlagen für die Chemieindustrie. Das sowjetische Ministerium für Chemie- und Erdölmaschinenbau (Minchimmasch) führte in Zusammenarbeit mit den RGW-Partnern umfangreiche Arbeiten durch, um den wachsenden Bedarf der RGW-Teilnehmer durch eine konsequente Spezialisierung noch schneller zu decken. So werden Aggregate für die Kabelisolation mit Plasten jetzt in der DDR gebaut, während in der Sowjetunion die Produktion derartiger Apparate eingestellt und statt dessen mit der Fertigung neuartiger Plastverarbeitungsmaschinen begonnen worden ist. Die VR Polen sichert den Bau und die Lieferung von kompletten Schwefelsäurefabriken, die VR Bulgarien von Anlagen für die Lack- und Farbenherstellung.

Ein relativ junges, dafür aber um so wichtigeres Arbeitsfeld der Integration ist die gemeinsame Ausbeutung von Bodenschätzen, wobei die Erschließung und Nutzung von Erdöl und Erdgas die bedeutendsten, schon an anderer Stelle erwähnten Beispiele sind. Von großem Interesse ist darüber hinaus das Errichten gemeinsamer Produktionskapazitäten für Zellstoff in Ust-Ilimsk an der Angara, von Asbest in Kijembaï und von Ferrolegierungen im Kursker Bezirk.

Auch auf dem Gebiet des Umweltschutzes hat eine neue Etappe der Zusammenarbeit begonnen. Das 1971 beschlossene RGW-Programm enthält nicht weniger als 37 Themen, die diesem Problemkreis gewidmet sind. Unsere Republik hat dazu mit einer Reihe sozialistischer Länder Spezialisierungs- und Kooperationsvereinbarungen abgeschlossen. Sie koordiniert im Rahmen des RGW speziell alle Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft.

Viele Chemiebetriebe der DDR sind heute durch Kooperationsverträge mit Schwester-einrichtungen aus den sozialistischen Ländern auch unmittelbar verbunden. So ist z. B. die



Petrochemische Kooperation DDR-ČSSR: Das bisher größte Integrationsobjekt unserer Republik.

Zusammenarbeit zwischen unserem VEB Chemische Werke Buna und dem polnischen Chemiekombinat Oswiecim bzw. dem Synthesekautschukwerk in Woronesh sowie die Verbindung zwischen den Leunawerken und dem sowjetischen Schrittmacherkombinat Stschokino bereits zu einer guten Tradition geworden. Zur Lösung von Schwerpunktaufgaben wurden mehrfach gemeinsame internationale Arbeitskollektive gebildet, die sich ausgezeichnet bewährt haben.

Seit Annahme des Komplexprogramms entwickeln sich günstige Bedingungen für die Bildung internationaler Wirtschaftsvereinigungen. Ziel und Ergebnis dieser neuartigen Integrationsform ist eine Sortimentsbereinigung, die Konzentration auf ausgewählte Erzeugnisse, die gemeinsame Planung und der

allseitige Übergang zur sozialistischen Großproduktion. Schon am 1.1.1970 nahm die internationale Vereinigung »Interchim« mit dem Hauptsitz in Halle ihre Tätigkeit auf. Ihre Aufgabe ist die Deckung des RGW-Bedarfs an kleintonnagigen chemischen Erzeugnissen (wie Farbstoffen und Farbstoffzwischenprodukten, Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, Textilhilfsmitteln und chemischen Zusätzen für die Polymerenproduktion) durch volle Ausnutzung der Vorteile einer internationalen Arbeitsteilung. Der Vereinigung gehören alle RGW-Länder mit Ausnahme von Kuba und der MVR an. Die Interchim-Nomenklatur umfaßt etwa 5000 verschiedene Produkte. Von 1970 bis 1975 wurde die Produktion um 66% auf zirka 2450 Mill. Rubel erhöht, womit der Bedarf der Mitglieds-länder zu 83% gedeckt werden konnte. Ausgehend von gründlichen Produktions- und Bedarfsbilanzen wurden gemeinsame Pläne über die Errichtung neuer und die Erweiterung vorhandener Betriebe sowie über die zukünftige

tige Spezialisierung und Kooperation ausgearbeitet. Bis zum Jahre 1985 will Interchim in seinen Mitgliedsländern fast 100 neue Produktionseinheiten aufbauen. Als wichtiges Teilergebnis der bisherigen Zusammenarbeit auf dem Farbstoffsektor soll die im RGW abgestimmte Farbpalette erwähnt werden.

Eine zweite internationale Wirtschaftsvereinigung ist die Organisation »Interchemiefaser«, deren Mitglied das Chemiefaserkombinat Schwarza ist.

Neben diesen multinationalen Institutionen gibt es gegenwärtig in der chemischen Industrie noch die zweiseitigen Vereinigungen »Assofoto« (Film- und Aufzeichnungsmaterialien) sowie »Domochim« (Kosmetika und Haushaltschemikalien). Sie werden von der UdSSR und der DDR getragen, sind aber auch für die anderen RGW-Länder offen. In der seit 1973 bestehenden »Assoziation der fotochemischen Industrie« (Assofoto) arbeiten insgesamt zirka 100 000 Arbeiter, Ingenieure und Techniker. Geplant ist ein Produktionsvolumen von etwa 3,5 Mrd. Mark.

Jede einigermaßen nüchterne Betrachtung zeigt, daß der Beitrag der Sowjetunion zur Entwicklung der Chemieindustrie aller RGW-Länder von größter Bedeutung ist. Dies kommt unter anderem darin zum Ausdruck, daß auf die sozialistischen Staaten im Jahre 1970 nicht weniger als 70% des sowjetischen Chemieaußenhandelsumsatzes entfielen. Nicht hoch genug kann auch die uneigennützige Weitergabe der umfangreichen sowjetischen Erfahrungen über die Entwicklung und Leitung sozialistischer Chemiebetriebe bewertet werden.

Andererseits haben aber auch die RGW-Länder einen großen Anteil am Aufbau der sowjetischen Chemieindustrie. So sind die Ammoniakproduktionsstätten der UdSSR im wesentlichen mit Anlagen aus der ČSSR ausgestattet, während die Schwefelsäurefabriken aus der VR Polen stammen. Große Mengen von Chemieausrüstungen liefert auch die DDR. Allein im Planjahrfünft 1965 bis 1970 wurden 54 sowjetische Chemiebetriebe mit Anlagen aus den RGW-Ländern ausgerüstet. Darüber hinaus bezieht die UdSSR in wachsendem Maße Farbstoffe, Plaste, Schwefel und pharmazeutische Produkte aus den befreundeten Ländern.

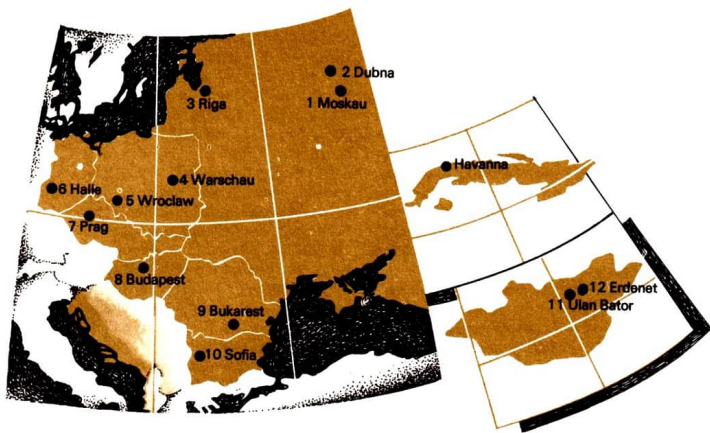
Die angeführten Beispiele machen deutlich, daß die sozialistische ökonomische Integration für alle beteiligten Staaten nach Umfang und Qualität nie dagewesene Möglichkeiten zur Entwicklung und Produktion neuer chemischer Erzeugnisse und Verfahren, inklusive der dazugehörenden Anlagen, bietet. Heute sind im RGW-Maßstab bereits einige Tausend chemischer Produkte von der internationalen Spezialisierung erfaßt. In der Zukunft kommt es darauf an, vor allem den Anteil der weltstandsbestimmenden Erzeugnisse systematisch zu erhöhen. Der internationale Verflechtungsgrad von chemischer Forschung und Produktion wird im Laufe dieser Entwicklung ein bisher noch gar nicht abschätzbares Ausmaß erreichen.

Schon sind auf der Basis gründlicher Weltstandsanalysen die ersten Varianten für eine langfristige Kooperation und Spezialisierung der Chemieproduktion bis zum Jahre 1990 und darüber hinaus erarbeitet worden. Für die Realisierung dieser gemeinsamen Zukunftspläne kommt der Herausbildung wirkungsvollerer Organisationsformen in der zwei- und mehrseitigen Zusammenarbeit eine erstrangige Bedeutung zu.

Die Lösung dieser Aufgaben wird an unsere Kader höhere Anforderungen stellen als je zuvor. Deshalb sollen am Ende dieses Buches einige Betrachtungen darüber angestellt werden.

Was die Chemiker der Zukunft alles können müssen

Wohl jedem wird einleuchten, daß sich unsere großen Ziele nicht von allein verwirklichen. Zwar ist der historische Prozeß objektiv bestimmt, d. h., er ist unabhängig vom menschlichen Bewußtsein und vom Willen des einzelnen, aber er wird doch von handelnden Menschen gestaltet. Mit anderen Worten bedeutet das: Der Sozialismus entwickelt sich um so besser, je aktiver die Menschen für ihn eintreten. Das gilt für jeden beliebigen Teilabschnitt unseres gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Lebens und demzufolge auch für die Chemie. Damit ist gesagt, daß wir zur weiteren Entwicklung der Chemie und ihrer Nachbardisziplinen Menschen brauchen, die



Internationale Organisationen der sozialistischen Länder, die für die chemische Produktion von Bedeutung sind (nach dem Stand von 1975): 1 Inst. f. Standardisierung RGW, Inst. f. ökonom. Probleme RGW, Zentrum für wissensch. und techn. Informationen, ESER (elektron. Rechentechnik), Interatomenergo, Interkosmos RGW, Interetalonpribor (Meßeinrichtungen), Interelektro, Assofoto, Domochim (Haushaltchemie); 2 Vereinigtes Institut für Kernforschung; 3 Intermorgeo (Meeresgeologie); 4 Interatominstrument; 5 Haldex (Kohle); 6 Interchim, Zentrum f. Elektronenmikroskopie; 7 Interelektrotest; 8 Intermetall; 9 Interchemiefaser; 10 Prüflabor f. Pflanzenschutzmittel RGW; 11 Internat. geolog. Expedition; 12 K. f. Kupfer- und Molybdänzerz.

als Arbeiter-, Wissenschaftler- und Leiterpersönlichkeiten ihre Kenntnisse und Fähigkeiten bewußt für die Gestaltung der entwickelten sozialistischen Gesellschaft einsetzen.

Natürlich müssen sich die Chemiker der Zukunft hohe Fachkenntnisse aneignen. Dabei wird aber das reine Faktenwissen, d. h. die vorzugsweise Ausnutzung des Gehirns als Tatsachenspeicher, an Bedeutung verlieren. Das folgt schon daraus, daß diese Aufgabe von Maschinen viel besser bewältigt werden kann. Die heute auf dem Gebiet der Chemie zu

beobachtende Akkumulation des Wissens übertrifft die Möglichkeiten eines rezeptiven Mitwachsens der Kenntnisse des einzelnen ohnehin schon um ein Vielfaches. Folglich kann sich auch das Studium der Chemie oder der chemischen Verfahrenstechnik, ganz gleich in welcher Ebene und in welchem Lebensalter es betrieben wird, nicht vorzugsweise auf die Aneignung von Tatsachen beschränken. Statt dessen kommt es darauf an, in viel höherem Maße Fähigkeiten sowie politische und moralische Grundüberzeugungen herauszubilden. Wenn dies nur unbefriedigend gelänge, würde sich der Chemiker am Ende seines Ausbildungsweges in der Lage eines Menschen wiederfinden, der zwar ein Auto bedienen kann, aber keine Ahnung von den Verkehrsregeln hat. Die hohen Erwartungen der sozialistischen Gesellschaft an die chemische bzw. verfahrenstechnische Forschung und Produktion können aber nur von solchen Fachleuten erfüllt werden, die bei der Planung und Realisierung ihrer Tätigkeit immer auch die gesellschaftlichen Zielsetzungen vor Augen haben.

In fachlicher Hinsicht ist beim Verfahrenstechniker eine optimale Koordinierung der prozeß-, apparate- und anlagentechnischen Kenntnisse anzustreben, während beim Chemiker die ausgewogene Kombina-

tion von theoretischem und reaktionspraktischem Wissen mit experimentellen Fertigkeiten an Laborgeräten und verstärkt auch an kleintechnischen Anlagen) angestrebt werden muß. An erster Stelle geht es jedoch um die bessere Ausprägung der oft noch unterentwickelten Fähigkeit, Fragestellungen zur Lösung von Problemen exakt herauszuarbeiten, nach einer sauberen Versuchsdurchführung oder nach der Abarbeitung notwendiger organisatorischer Aktivitäten ebenso eindeutig die Ergebnisse auszuwerten und präzise Schlußfolgerungen daraus zu ziehen. Im Vordergrund steht also die beharrliche Entwicklung eines prozeßorientierten »chemischen Denk- und Arbeitsvermögens« und damit letztendlich die Förderung des schöpferischen Potentials!

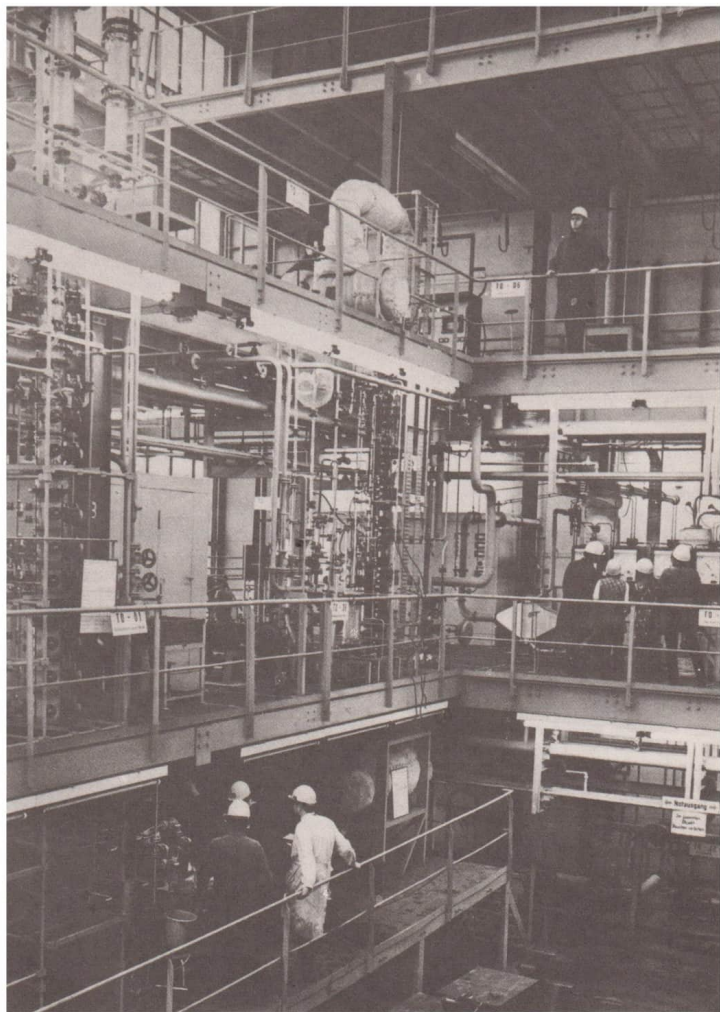
Ein schöpferisch tätiger Mensch schafft neuartige geistige oder materielle Werte, also neue Mittel oder Verfahren zur Anpassung unserer Umwelt an die Bedürfnisse des Menschen. Der bekannte Chemiker Wilhelm Ostwald (1853–1932) sagte: »Originalität, das heißt die Fähigkeit, sich selbst etwas einfallen zu lassen, was über die Aufnahme des Dargebotenen hinausgeht, ist von allen Eigenschaften, die den Forscher ausmachen, die wichtigste.« Damit hat er sicherlich recht. Bei Marx aber sind schöpferische Tätigkeit und produktives Denken nicht nur Attribute des Wissenschaftlers, sondern menschliche Wesenseigentümlichkeit überhaupt. Sie sind gleichbedeutend mit der freien selbstbewußten Tätigkeit des Menschen schlechthin. Dabei darf mit Recht erwartet werden, daß »die volle Entwicklung des Individuums selbst wieder als die größte Produktivkraft zurückwirkt auf die Produktivkraft der Arbeit« (Marx). Höchstes Ziel bei der Entwicklung unserer Kader sowohl in der Ausbildungsphase als auch während der Berufspraxis ist deshalb ein möglichst großer Zuwachs an Leistungsfähigkeit und Selbstwert.

Die rasche Entwicklung von Wissenschaft und Technik erfordert vom Chemiker und Verfahrenstechniker aller Ausbildungsgrade die Fähigkeit, sich den wechselnden und dabei unaufhörlich steigenden Anforderungen des Berufslebens nicht nur anzupassen, sondern die Entwicklung seines Fachgebiets schöpferisch mitzugestalten. Dazu sind Disponibilität,

Mobilität und Flexibilität erforderlich. Eine Umfrage in DDR-Forschungseinrichtungen der chemischen Industrie im Jahre 1972 ergab, daß immerhin noch 14,6% der Befragten die Auffassung vertraten, konservative Ausbildungsmethoden während des Studiums hinderten sie, ihre wissenschaftliche Produktivität voll auszuschöpfen. Das bedeutet aber nichts anderes als mangelnde Disponibilität und Flexibilität, denn an der Fülle und am Niveau des vermittelten Wissensstoffes wie auch an einer guten Lernhaltung der Studenten mangelt es bei uns im allgemeinen nicht. Deshalb wird zu Recht gefordert, den praktischen und gesellschaftlichen Bezug des Chemiestudiums noch besser herauszuarbeiten. Dies heißt nicht, daß man das Studium auf die vielschichtige chemische Berufspraxis unmittelbar einstellen soll, denn die Anpassung an spezifische Belange eines konkreten Arbeitsplatzes wird in befriedigender Weise immer nur am Arbeitsplatz selbst erreicht. Es geht vielmehr darum, während der Ausbildungszeit gewissermaßen eine »chemische Berufsfähigkeit« und damit eine hohe Variabilität in bezug auf zukünftige wissenschaftliche, technologische oder organisatorische Aufgabenstellungen zu vermitteln.

Flexibilität und Mobilität schließen die Fähigkeit ein, den immer noch anschwellenden Strom der chemischen Fachliteratur weder einfach vorbeirauschen zu lassen noch darin zu ertrinken. Der Chemiker muß vielmehr in der Lage sein, das zum Erkennen und Lösen seiner Probleme erforderliche Wissen selbständig und zielgerichtet assimilieren zu können. Das hohe Entwicklungstempo der Chemie und aller mit ihr verbundenen Disziplinen führt nämlich schneller, als man es oft wahrhaben möchte, zu einer Überalterung des erworbenen Wissens. Selbst Diplom- und Doktorarbeiten sind kein Nachweis einer lebenslänglichen Befähigung auf dem speziellen Fachgebiet. Die Leistungsfähigkeit eines

Die zukünftigen Chemiekader müssen nicht nur im Labor, sondern auch an Technikumsanlagen auf ihren Beruf vorbereitet werden. Blick auf die Versuchshalle für Studenten der Technischen Hochschule für Chemie in Leuna-Merseburg.



Chemikern kann deshalb nur dann erhalten bleiben, wenn er mindestens 10 bis 20% seiner Zeit auf die Weiterbildung verwendet. Deshalb muß die kontinuierliche Qualifizierung der schon im Arbeitsprozeß Stehenden zukünftig noch stärker in den Gesamtprozeß der Ausbildung integriert werden. Möglicherweise wird man eines Tages sogar daran denken müssen, die Zeit der Grundausbildung zugunsten einer laufenden Qualifizierung während der Berufstätigkeit zu verkürzen!

Es ist sicher, daß in den vor uns liegenden Jahrzehnten auch soziologische Fragen, Probleme des Zusammenwirkens von Menschen mit unterschiedlichen Aufgaben und Interessen, Fragen der Arbeitsteilung und der Integration im betrieblichen, nationalen und internationalen Maßstab sowie der Mitverantwortung und Autorität für den Chemiker eine ständig wachsende Bedeutung erhalten werden.

Bei einer Verdoppelung des technischen Wissens innerhalb von weniger als zehn Jahren kann der einzelne immer nur einen Teil seines Fachgebiets überschauen. Vor allem deshalb, und nicht etwa weil es fast auf jeder einschlägigen Versammlung gesagt wird, sind wesentliche Arbeitsergebnisse in der Regel nur noch in Gemeinschaftsarbeit zu erreichen. Die Chemiker und Verfahrenstechniker der Zukunft müssen deshalb in noch viel größerem Maße als heute über die Fähigkeit und Bereitschaft zur kollektiven und interdisziplinären Zusammenarbeit verfügen. Das ist zwar hauptsächlich ein Problem der ideologischen Erziehung, aber es erfordert auch, daß sich die Chemiker ein gründlicheres Wissen in der Verfahrenstechnik und im Apparatebau, die Verfahrenstechniker und Anlageningenieure bessere Einsichten in die chemischen Grundlagen und alle zusammen tiefere Kenntnisse über die organisatorischen und ökonomischen Faktoren aneignen, die in zunehmender Vielfalt und Komplexität auf die Arbeit einwirken. Der hier und da noch anzutreffende Fachspezialist im negativen Sinne, der sogenannte Fachidiot, von dem Bernhard Shaw sagte, daß das ein Mann sei, »der immer mehr über immer weniger erfährt, so lange, bis er alles über nichts und nichts über alles wissen wird«, muß jedenfalls überwunden werden. Die Erfahrungen beweisen, daß die erfolgrei-

che Arbeit im Kollektiv ein zielgerichtetes Kooperieren von disponiblen und fachlich gleichberechtigten Partnern mit wechselndem Führungseinfluß erfordert.

In diesem Zusammenhang ist die Fähigkeit und Bereitschaft zur praktischen Vertiefung des Bündnisses zwischen Arbeiterklasse und Intelligenz in den Chemiebetrieben zu fördern. Sie könnte ihren sichtbaren Ausdruck in einer stärkeren Entwicklung der Gemeinschaftsarbeit zwischen Studenten und Jungarbeitern sowie zwischen Wissenschaftlern und Produktionsarbeitern finden. »Dem Bündnis von Wissenschaft, Proletariat und Technik wird keine noch so finstere Gewalt widerstehen können«, erklärte Lenin schon 1920.

Von den Chemikern der Zukunft muß weiterhin Initiative und Beharrlichkeit zur Überwindung von Trägheitswiderständen, die Fähigkeit zum Risiko sowie zum aktiven Engagement für die im Interesse der Gesellschaft zu lösenden Aufgaben ebenso wie zur kritischen Reflexion fremder und eigener Arbeitsergebnisse erwartet werden.

Die vom Chemiker des ausgehenden 20. Jahrhunderts zu fordernden Kenntnisse und Fähigkeiten werden mit bewußtem Verzicht auf eine verfrühte Spezialisierung nur im Rahmen einer breiten Grundausbildung zu vermitteln sein, so, wie es in der DDR für Chemieingenieure, Chemiker und Verfahreningenieure schon mit Erfolg angestrebt wird. Beispielsweise geht die Spezialisierung des Verfahreningenieurs unabhängig von der Fachrichtung nur so weit, daß er im Gesamtgebiet der Verfahrenstechnik arbeiten kann. Im übrigen ist die zweckmäßige Koordinierung und Proportionierung von Grundlagen- und Spezialausbildung ein ewig aktuelles Problem, das immer wieder neu durchdacht werden muß.

Im Fachunterricht selbst müssen Aspekte überwiegen, aus denen besonders die Methodologie, die Systematiken und wesentlichen Problemstellungen der Chemie aufgenommen werden können. Didaktische Formen, mit deren Hilfe Methoden zur Lösung von Problemen und Probleme selbst vermittelt werden können, sollten bevorzugt werden. Die Anwendung programmierter Lehrmaterialien, die den Stoff in logisch miteinander verbundenen, vom Einfachen zum Kom-

plizierten fortschreitenden Teilen darbieten, kann die Lehr- und Lernarbeit sehr erleichtern. Trotzdem wird die Arbeit in Kleingruppen bei der Wissensaneignung noch weiter an Bedeutung gewinnen.

Bis vor wenigen Jahren war ein anderer Mensch der einzig mögliche Partner für den Dialog. In der Zukunft aber werden in wachsendem Maße auch Lernmaschinen und audiovisuelle Mittel (Lichtbild, Film, Tonband, Rundfunk, Fernseher, Unterrichtscomputer, Videorecorder) als »Gesprächspartner« Anwendung finden. Dadurch wird der Lehrer von routinemäßiger Unterrichtsarbeit entlastet werden, so daß er Zeit gewinnt, sich auf seine eigentliche Aufgabe, nämlich die Vermittlung problemorientierter Kenntnisse und die Entwicklung der Persönlichkeit, zu konzentrieren.

Natürlich können wir den Schülern und Studenten kein Wissen vermitteln, das erst in 10 oder 20 Jahren entdeckt wird. Aber die Tatsache, daß wir unsere Kader nicht irgendwann, sondern heute schon mit dem Rüstzeug ausstatten müssen, das sie befähigen soll, die am Ende des Jahrhunderts anstehenden Aufgaben zu lösen, bleibt bestehen. Daraus ergibt sich eine große Verantwortung, der die so-

zialistischen Länder mit vielfältigen Bemühungen erfolgreiche Rechnung tragen.

Die Chemiker der Zukunft müssen strenge Sachlichkeit mit revolutionärem Elan, fundierte Kenntnisse mit schöpferischer Phantasie und pedantische Genauigkeit mit vorwärtsdrängender Risikobereitschaft verbinden. Die entwickelte sozialistische Gesellschaft wird nicht mit Fachleuten aufgebaut, die sagen: »Das machen wir so – das haben wir schon immer so gemacht«. Ihre Lösung in Wissenschaft und Produktion, Organisation und Verwaltung sei statt dessen: »Das hat noch keiner gemacht – das probieren wir!«. Daß sie sich dabei nicht nach den Sternen, sondern nach einer zuverlässigen wissenschaftlichen Kompaßnadel richten, versteht sich von selbst. So wird der Weg ins dritte Jahrtausend nicht zuletzt auch mit Hilfe der Chemie für uns alle erfolgreich sein.

In den bis dahin noch vor uns liegenden Jahren bauen die fortgeschrittensten Länder bereits an den Fundamenten der kommunistischen Gesellschaft. Dazu werden die Chemiker zusammen mit allen anderen Werk-tätigen der chemischen Wissenschaft und Produktion einen wesentlichen Beitrag leisten.

Sachwörterverzeichnis

- Abfallprodukte 18, 30, 33–35, 128, 158, 242, 243
Abgasentschwefelung 21
Abschreckmittel, s. Repellents
ABS-Polymere 134, 135, 143–145
Abwasser 34, 192, 244
Additionsverbindungen 40, 125
Adenosintriphosphat 227
Adern, künstliche 228
Adipinsäure(nitril) 112, 113
Aggregatzustand, vierter 104 bis 106
Agrochemie 188, 194–211, 255
Agrochemische Zentren 197, 198
Akkumulatoren 115, 118, 119
Akrylglas 138
Akrylnitril 27, 112, 120, 134, 146, 253
Aktienbeteiligungen 248, 249
Aktinium 93
Aktivierung 93, 97, 111, 116, 120, 169, 170
Aldehyde 28, 38, 122, 133
Algen 210, 214, 224
Alkaloide 222, 230–233
Alkane 26, 27, 41, 66, 214
Alkene 26, 103, 120, 121, 138, 147, 217, 254–256
Alkohol 23, 27, 50, 128, 133, 158, 207, 212, 232, 234
Alkydharze 181, 183
Alkylbenzolsulfonate 124, 127
Alkylierungsmittel 230
Allelektronenrechnung 80
Alphastrahlung 96, 97
Alterungsprozesse 238, 239
Aluminium 7, 16, 18–20, 38, 41, 108, 118, 121, 133, 136, 137, 167, 170, 172, 177–183, 193, 246, 251
– chlorid 19
– gewinnung 7, 19, 37, 112
– triäthyl (methyl) 121
– trioxid 120, 172, 179, 180
Aluminosilikate 19
Amerizium 90, 93, 94
Aminobenzoesäure 239
Aminoplaste 134, 182
Aminosäuren 211, 215, 218, 231, 235, 236, 238, 239
Ammoniak 2, 28, 38, 40, 58, 62, 74, 96, 103, 105–107, 112, 128, 130, 157, 196, 198, 200, 215
– reaktoren 50, 51, 92, 254
– synthesen 105, 120, 122, 195, 201–203
Ammoniumphosphat 197
Ammoniumsulfat 27, 196
Analytik 78, 81–85, 128
–, Automaten 59, 66, 82–84
–, chemische 44, 58, 63, 88, 103, 129
–, kerntechnische 92, 93
–, klinische 66
Androgene 237, 238
Anhydrit 21
Anlagen
–, Ausfallursachen 52
–, bau 8, 44, 46–49, 171, 172
–, entwicklung 44
–, export 49
–, freibauweise 9, 48
–, Großanlagen 25, 26, 30–32, 49–54, 62, 73, 201
–, gröÙe 24, 26, 30, 49–54
–, kapazität 25, 62, 74, 112, 121, 168, 174–177, 201, 253–256
Anlagenmodellierung 47, 48, 64, 255
– transport 51, 53
Anthrachinon 254
Antibiotika 208, 209, 215, 219, 221–224, 230
Antifeedings 207
Antiklopfmittel 112, 245
Antimetaboliten 230
Antimon 120, 166
Apparatebau 8, 44, 46, 47, 49, 111, 167, 180
Arbeitsproduktivität 13, 45, 47, 54–57, 82, 109, 114, 115, 193, 197, 203, 253
Arginase/Arginin 231
Aromaten 26, 31, 103, 111, 136, 153, 158
– gewinnung 66
– lücke 34
Arsen 166
Arteriosklerose 227
Arzneibücher 222
Arzneimittel 7, 85, 92, 121, 190, 191, 209, 221, 231–234, 245, 248, 251, 253, 258
–, Depotarzneiformen 225, 237
–, Plazebos 220
–, produktion 220
–, Psychoarzneimittel 221, 232
–, synthese 222–239
–, verzeichnis 220, 221
–, wirkung 225, 227
Asbest(beton) 144, (170), 251, 256
Aschen u. Schlacken 34, 170
Asparagin(ase) 231
Assimilation, s. Fotosynthese
Assofoto 99, 258
Astat 88

- Atebrin 222, 223
 Äthanol, s. Alkohol
 Äthanolamin 77
 Äthylen 26, 27, 29, 38, 41, 49, 50, 74, 106, 107, 121, 133, 134, 138, 147, 158, 253–257
 – glykol 96, 253
 – imine 230
 – oxid 27, 62, 74, 124, 125, 257
 Atombombe 94
 Aufheller 123, 126
 Aureomycin 223
 Ausbeuten 40, 43, 50, 58, 100, 102, 105, 107, 113, 114, 119, 120, 182, 202, 223
 Automatisierung 13, 48, 50, 54 bis 57, 60–87, 74, 198
 Automobile 137, 143–145, 148, 182, 183
 –, Batterieantrieb 117, 118
 Autoreifen 95, 97, 146–149, 155, 164
 Autoschläuche 146
 Azetylen 28, 29, 31, 37, 38, 103, 105, 217

 Bagasse 33, 158
 BASF 244, 246–249
 Batterien 93, 115–120
 Baukastensystem 47, 60, 74, 84
 Baumwolle 145, 150, 154, 155, 251
 Bauwesen 47, 48, 133, 137–142, 156, 157, 159, 166, 167, 193
 Bauxit 19, 111, 251
 Bayerwerke 145, 222, 244, 246, 248, 249
 Benzin 23, 25–28, 30, 37, 105, 112, 115, 118, 245, 257
 Benzol 26, 27, 38, 96, 100, 136
 Bergbau 16, 20, 35
 Bergius-Verfahren 25
 Berkelium 90
 Beryllium(oxid) 102, (180), 181
 Beschäftigtengruppen 56
 Bestrahlung 92, 93, 95, 203, 207, 231
 Betastrahlen 93, 94, 96
 Beton 22, 95, 133, 137, 139, 168 bis 171, 180, 181, 184, 193
 – typen 95, 157, 164, 169–171
 Betriebssicherheit 52, 53, 58, 73
 Bindungen 103, 107, 160, 202, 235
 Bindungsenergie, s. Dissoziationsenergie
 Biochemie 40, 79, 217, 218, 226, 227, 230–239
 Biologie 8, 194, 219, 239
 Biomasse 33, 34, 158
 Biosynthese 210, 223, 224, 227
 Biozide 204–208
 bit 61, 166
 Bitterfeld 120, 154
 Blausäure 28, 112, 130
 Blei 16, 18–20, 90, 91, 118, 119, 176
 Bleichmittel 123, 124, 126, 150
 Bleitetraäthyl 112, 245
 Blockfertigung u. -montage 48
 Blutgerinnsel 228
 Bluthochdruck 227
 BMSR-Technik, s. Meß-, Steuer-, Regeltechnik
 Bodenverbesserungsmittel 200
 Böhlen 255, 257
 Bombykol 207
 Bor 137, 180, 181, 196, 209
 – fibern 180
 – karbid 180
 – nitrid 109
 Borazon 109
 Boride 105, 171, 172
 Brennstoffe 18, 26, 32, 41, 43, 115, 117, 120, 158, 176, 251
 Brennstoffzellen 42, 115–120
 Brenzkatechin 254
 Brenztraubensäure 218
 Brom 22, 103
 Brunstsynchrosatoren 210
 BTX-Aromaten 26
 Buna-Werke 110, 134, 187, 245, 256, 257
 Butadien 26, 27, 135, 146–148, 158, 256

 Camposan 200
 Centralblatt 75
 Cermets 172
 Chalone 231
 Chemical Abstracts 75, 76, 78
 Chemiefasern 150–156, 248, 249, 253, 255
 Chemiewerkstoffe, s. Plaste u. Werkstoffe
 Chemische Gesellschaften 76, 78, 246, 247, 250
 Chemisierung 12–15, 194–209, 233, 243
 Chemosterilantien 207
 Chemotherapeutika 221–239
 Chinin 222, 223
 Chlor 22, 28, 38, 100, 113, 116, 118, 254, 257
 Chloramphenikol 223, 224
 Chlorcolinchlorid 200
 Chloressigsäure 95
 Chlorierung 100, 138
 Chlorkalk 150
 Chlorkohlenwasserstoffe 28, 62, 205, 206
 Cholesterin 227
 Chrom 16–20, 101, 108, 114, 120, 128, 129, 172, 177, 180, 183, 202
 Chromatographie 84, 191
 –, Gaschromatographie 57, 83 bis 85
 –, Gelchromatographie 68
 Chromotypie 99
 Computer 52, 58, 60–87, 101
 – auslastung 58
 –, Mini-, Mikrocomputer 62, 73
 – programme 63, 79–81
 –, Rechengeschwindigkeiten 61, 64
 – speicher 61, 64, 166
 –, Speicherung 13, 79, 86, 159
 Contergan 220
 Curium 89, 90, 93, 94

 Dampfmaschine 37, 38
 DDT 205
 Dederon 70
 Dehydrierungen 111, 121
 Destillation(skolonnen) 24, 25, 27, 40, 46, 48–52, 58, 62, 68, 84, 172, 257
 Deuterium 103
 Diabetes, s. Zuckerkrankheit
 Diamanten 108–110, 128, 130
 – synthese 106, 108–109
 – werkzeuge 108, 109, 114
 Diene, s. Diolefine
 Dieselöl 25, 26, 214
 Diisocyanate 133, 141, 182
 Dikarbonsäuren 239
 Dimethylhydrazin 106
 Diolefine 26, 27, 121, 147
 Dipolmomente 81
 Disproportionierung 111
 Dissertationen 75
 Dissoziationsenergie 81, 94, 103
 Dokumentation, s. Informations-
 erfassung
 Domochim 258
 Doping(mittel) 85, 232
 Dow Chemical 233, 246, 248, 249
 Druckbehälter 107, 108, 118
 Dubna 89, 90
 Düngemittel 7, 11, 21, 27, 38, 188, 194–203, 241, 251, 252, 254
 – aufwand 196
 –, Düngemodell 197

- Düngemittelversorgung 199 bis 201
- Du Pont 74, 245, 248, 249
- Durchflußmengenmessung 59, 92
- Duromere, s. Schaumstoffe
- Duroplaste 35, 133, 135–136, 145
- Dynamoelektrisches Prinzip 13, 37
- Ebal 183
- Edelsteine, synth. 70, 108–110
- EDV 38, 47, 48, 61–74, 76, 79–81, 83–87, 159, 197, 224
- Eindampfprozesse 40, 46
- Einkristalle 109, 110, 142
- Einsteinium 90
- Einstranganlagen 50, 52
- Eisen 7, 10, 20, 34, 108, 109, 120, 128, 129, 131, 133, 137, 169, 172–181, 193, 201, 202, 245
- erdzyklische Reduktion 175–177
- erze 19, 34, 105, 251
- erzeugung 7, 173–177
- karbid 108, 109
- oxide 34, 97
- schwamm 175, 176
- vorräte 16, 18, 19
- zyanid 182
- Eiweiß 21, 33, 34, 41, 125, 158, 200, 209–215, 218, 231, 235 bis 239
- fasern 152, 214
- versorgung 211–215
- Elaste, Elastomere 143, 145–150, 158
- Elektrochemie 13, 37, 41, 43, 76, 93, 111–120
- Elektrolysen 43, 50, 112–116, 119
- Elektronenbeschleuniger 96
- Elektronenhüllen(orbitale) 106, 107
- Elektronik 8, 37, 47, 57–60, 81, 94, 99, 137, 249
- Elektrosynthesen 112–114
- Elektrotechnik, s. Elektronik
- Elementarprozesse 80, 81
- Elemente, chemische 16, 17, 19 bis 23, 36, 88–93, 103, 121, 122, 128, 129, 194, 202, 224
- , Nachweis 103
- , Stabilität 90–92
- Elemente, elektrochemische 37, 115–120
- Eliminierungen 105
- Emaillie 167, 183, 193
- Emulgatoren 41, 216
- Energie 16, 17, 20, 23, 30–32, 58, 107, 118, 175, 201–203, 253
- Energieaufwand 33, 38–41, 101
- bedarf 32, 36, 42, 184, 218
- und Chemie 36–38
- dichte 42
- , Elektroenergie 37–39, 42, 43, 113, 115–120, 203, 241
- erzeugung 24, 30, 32, 37, 38, 115–120
- , Kernenergie 13, 20, 32, 42, 43, 93, 176
- ressourcen 28, 31, 41–43
- , Sonnenenergie 37, 42, 99, 164
- , Strukturveränderungen 41 bis 43
- träger 23–33, 38, 41–43, 115, 174, 211
- transport 39, 40, 43
- verbraucht 37, 38, 41, 114, 168, 176, 184
- verluste 38–41
- , Wärmeenergie 37, 40, 43, 54, 94, 97, 100, 203
- , Wasserkraft 41, 42
- Entsorgung 21, 24, 41
- Entscheidungen 52, 85–87
- Entwicklungshilfe 12
- Entwicklungsländer 11, 12, 17, 18, 150, 156, 201, 205
- Enzyme 62, 66, 122, 123, 125, 201, 212, 215, 218, 224, 226, 228, 231, 232, 235, 236, 239
- Epoxidharze 120, 133, 135, 138, 139, 145, 180–183
- Erden, seltene 102, 121
- Erdgas 7, 23–32, 37, 38, 42, 48, 105, 115, 116, 176, 202, 214, 241, 248, 251, 254, 256
- vorräte 18, 28, 29
- Erdkruste 16, 18, 21, 23
- Erdöl 7, 16, 23–27, 32, 37, 38, 41, 42, 64, 66, 105, 155, 158, 214, 251, 255–257
- bedarf 28
- förderung 27, 28, 33, 241
- fraktionierung 24–26
- industrie 26, 62
- leitung 66, 164
- preise 17, 30
- verarbeitung 23–27, 248
- vorräte 18, 28
- Ergosterin 100
- Ernährung 128, 209, 211
- Ernteertrag 195, 196, 200–204
- Ernteverlust 203, 204
- Erzaufbereitung 20
- Eutrophierung 125, 199, 242
- EWG 248, 249
- Extrusionsblasverfahren 156
- Farben, Farbstoffe 7, 27, 102, 121, 123, 150, 217, 255–258
- , Lackfarben 182, 183
- , Textilfarbstoffe 102, 153, 154, 187
- Faserplatten 156, 157, 193
- Faserstoffe 27, 34, 150–156, 158, 161
- , Karbonisierung 153
- , Naturfasern 7, 145, 150, 153 bis 155
- , Produktion 150, 155
- , Verbrauch 155
- , Verbunde 152, 154, 155
- , Vliese 152, 156, 159, 160, 164, 254
- Fermente, s. Enzyme
- Fermenter 212, 215
- Fermium 88–90
- Ferrosin 214
- Ferrite 171, 172
- Ferrolegierungen 256
- Festkörper(physik) 101, 111, 116
- Fettalkohol 125
- oxäthylate 124, 125
- sulf(on)ate 122, 124, 127
- Fette 33, 87, 125, 211, 216–218, 226
- Fetthärtung 217
- Fettsäureamide 125
- Fettsäuren 125, 217, 218
- Fischer-Tropsch-Synthese 29
- Fleckenentferner 126, 127
- Fluor 28, 102, 129, 226
- Fluoridierung 113, 226
- Fluorverbindungen 28, 62, 102, 107, 112, 133, 136, 148
- Flüssiggase 26, 27
- Folien, s. Plastefolien
- Fondsrentabilität 55
- Formaldehyd 28, 133
- Forschung u. Entwicklung 8, 45, 46, 74, 99, 126, 136, 161, 168, 246, 252
- Fotochemie 98–101
- Fotochromie 166
- Fotografie 98–100, 116, 166
- Fotosynthese, biologische 22, 33, 42, 99, 100
- Fotosynthesehemmer 206
- Fotosynthesesensibilisation 100
- Fotosynthese, technische 100
- Frankium 88
- Fugenmassen 138, 139
- Füllstandsmessung 92
- Furfural 158
- Futtermittel 87, 209, 214, 215
- wirksamkeit 210

- Gallensteine 227
 Galliumverbindungen 97, 101
 Galvanisieren (Plaste) 144
 Gammastrahlen 94–96, 203
 Gärung 215, 217
 Gasentladungen 101, 103–106
 Gas(silikat)beton 169–171
 Gebrauchswert-Kostenanalyse 55, 73
 Geburtenregelung 236–238
 Gedächtnisbeeinflussung 234
 Gegenstromverteilung 84
 Gelatine 98
 Germanin 222
 Geschichte 7, 219, 241, 249
 Gestagene 237
 Gesundheitspflegemittel, s. Kosmetika
 Gibberelin 215
 Gifte 223, 231–235, 245
 Gips(baustoffe) 21, 22, (170)
 Glas 7, 17, 34, 38, 98, 101, 118, 130, 133, 143, 161–168, 179 bis 181, 184, 193, 251
 – anlagen 163, 188
 – fasern 133, 148, 164, 165
 – faseroptik 165, 166
 – härtung 162, 163
 – keramiken 162
 – typen 162–164, 166, 167
 Glukagon 235
 Glukose 117, 236
 Glutaminase 231
 Glutaminsäure 215, 230
 Glycerin 217, 218
 Glyzin 218
 Gold 16, 18, 20, 21, 37, 128
 Gonadotropine 210, 236–238
 Graphit 104, 108, 109, 120, 128
 – fasern 180
 Grippe 225
 Grundfonds 11, 38, 54, 56
 Gülle 35, 210
 Gummi 7, 23, 28, 95, 122, 145 bis 150, 229, 255
 Gürtelrosen 225
 Haber-Bosch-Verfahren 195, 201 bis 203
 Halbleiter 42, 99, 166, 167
 Halbwertszeiten 88, 91, 93
 Halle 11, 257
 Halluzinogene 231–234
 Halmstabilisatoren 200
 Halogenlampe 98
 Handel 49, 79, 233, 251
 Harnstoff 62, 133, 195, 196, 209, 210, 254
 Harnstoffreaktoren 49, 53, 197
 Hartmetall 108, 109
 Haschisch 232
 Haushaltchemie 123–127, 253, 258
 HCH = Hexa 100, 205, 206
 Hefe 100, 158, 209, 212, 214, 215, 218
 Heizöl(druckvergasung) 26, 27, (29), 214
 Helium 28, 32, 40, 79, 101, 129, 175, 176
 Herbizide 62, 203, 204, 206, 208, 240
 Heroin 232
 Herz, künstliches 94, 148, 229
 Herzglykoside 227
 Herzinfarkt 191, 227, 228
 Herz-Kreislauferkrankungen 221, 227
 Herzschrittmacher 93, 94
 Heterozyklen 136, 153
 Hilfsprozesse 56, 74
 Hochdruckapparate 49, 107–109
 Hochdruckprozesse 58, 63, 106 bis 109, 116, 121, 122, 253
 Hochfeldchemie 111, 112
 Hochofen 92, 173–177, 181
 Hochtemperaturprozesse 26, 37, 40, 42, 49, 58, 98, 104–109, 116–118, 122, 175–177, 182
 Hoechst, Farbwerke 77, 244–249
 Hologrammspeicher 101
 Holographie 166
 Holz 33–35, 42, 137, 140, 142, 156 bis 158, 163, 180–184, 187, 193, 214
 – bedarf 33
 – einschlag 33
 – preise 17
 – reste 34, 35, 157, 209, 212
 – schliff 159
 –, Schnittholz 33, 156, 193, 251
 – vorräte 33
 – verwertung 35, 156–161
 – verzuckerung 35, 212
 – werkstoffe 95, 133, 137, 140, 157, 170, 182, 187
 – zuwachs 33
 Hormone 208, 210, 226, 228, 230 bis 239
 Hydrazin 96, 106, 116, 118, 129
 Hydrierung 25, 28–30, 49, 50, 103, 106, 111, 121, 255
 Hydroformylierung 121
 Hydrokracken 25, 49
 Hydrolyse 212
 Hydroponik 198
 IG Farben 222, 241, 245–249
 Immunotherapie 225, 229, 231
 Imperial Chemical Industries 245, 248
 Impfstoffe 209, 225, 226
 Indiumverbindungen 97
 Industrialisierung 12, 16, 17, 127, 199, 200, 243, 250
 Industrie, chemische 8, 49
 –, Entwicklungstempo 7, 10–13, 15
 –, Historisches 244–252
 –, im Kapitalismus 244–250
 –, im RGW 252–258
 –, Umsatz 8, 10, 131, 221, 246, 248, 258
 Infektionen 219, 223, 225, 229
 Inforchim 79
 Information 45, 61–63, 73–80, 86, 87, 123, 128, 159, 166
 Informationsquellen, s. Literatur
 Informationsdienste 76, 78, 79
 Informationserfassung 46, 76, 83, 86
 Informationsrecherchesystem Spresi 79
 Insektizide 100, 195, 206–208, 256
 Instandhaltung 52, 56
 Insulin 226, 235
 Integration, kapitalistische 249, 250
 –, sozialistische 250–258
 Intensivierung 54–57, 197
 Interchemiefaser 258
 Interchim 257, 258
 Interelektro(test) 173
 Interferon 225
 Interstellarer Raum 128–130
 Ionenaustauscher 116, 121, 122
 Ionisierungsenergie 81
 Isomerisierungen 105, 107
 Isopen 26, 27, 126, 252
 Isotope(nchemie) 70, 88–93, 103, 128, 203, 231
 Jod 92, 98, 209
 Kadmium 16
 Kaliindustrie 34, 196, 248, 255
 Kalifornium 70, 89, 90, 93, 94
 Kaliproduktion 194
 Kalisalzvorräte 20
 Kalium 16, 20, 194, 196
 Kalk 22, 29, 34, 169
 Kälpan 209
 Kalzitinin 235

- Kalzium 16, 23, 93, 193, 194
 — chlorid 169
 — karbid 37–39
 — nitrat 107
 — woframat 110
 Kampfstoffe 240
 Kaolin 171
 Kaprolaktam 70, 100, 253, 255
 Karat 108
 Karbide 37, 41, 105, 108, 114, 119, 171, 172
 Karbonatchemie 24, 32
 Karbonate 23, 24, 123
 Kariesbekämpfung 226
 Karnallit 20, 36
 Katalysatoren 20, 26, 64, 94, 95, 106, 108, 109, 111–116, 120 bis 123, 135, 146, 147, 202, 235, 254, 255
 Katalyse 25, 26, 32, 63, 100, 103, 106, 120–123
 Kautschuk 27, 38, 143, 145–150, 251, 257
 — produktion 146, 147
 — typen 74, 121, 138, 146–148, 183, 252, 253
 Keramik 7, 118, 121, 140, 170 bis 173, 177, 180, 184, 193, 251
 —, Faserkeramik 133, 161, 173
 —, Oxidkeramik 172, 173
 —, Technologie 173
 Kernexplosionen 88–90, 106
 Kernfusion 101
 Kernkraftwerke 93, 97, 119
 Kernreaktoren 20, 30, 32, 90, 94, 96, 97, 175, 176, 202
 —, Schnelle Brüter 43, 94
 Kernspaltung 175, 176
 Kettenlänge 124, 128, 235
 Kettenreaktionen 97, 103
 Kies 22
 Kieserit 21
 Kinine 226
 Klassencharakter 240, 241, 249
 Klopffestigkeit 25, 26, 245
 Knallgaszelle 116–118
 Kobalt 16, 18–20, 96, 121, 128, 177, 180, 209, 251
 Kohle 7, 23, 27, 29, 30–32, 37, 38, 41, 42, 103, 115, 117, 119, 128, 158, 241, 245
 —, Aktivkohle 34, 121,
 —, Braunkohle 23, 31, 37, 38, 43
 —, chemie 24, 29–32, 251
 —, Preise 17
 —, Steinkohle 30, 31, 43, 251
 Kohlendioxid 22, 23, 32, 33, 128, 150, 175, 255
 Kohlenhydrate 158, 211, 218
 Kohlenmonoxid 29, 107, 111, 116, 122, 128, 130, 175, 176, 214, 255
 Kohlenstoff 23, 24, 27, 29, 32–34, 37, 42, 105, 116, 117, 128, 158, 175, 176, 180, 181, 214
 — vorräte 18, 19, 31
 — bewirtschaftung 24
 Kohlenwasserstoffe 24–27, 30, 100, 103, 105, 111, 113, 116, 122, 214, 215, 225
 Koks 29, 31, 34, 174–176, 251, 252
 Kollagenfasern 39
 Kombinate 8, 38, 54–56, 79, 87, 244, 254–258
 Komplexe 111, 121, 122, 201, 202, 215, 225
 Komplexprogramm 252, 256, 257
 Kontaktkopiertechnik 99
 Konvertierung 255
 Konzerne 220, 233, 241–250
 —, multinationale 247–250
 Kooperation 49, 53, 56, 78, 99, 147, 173, 252, 253, 256–258
 Koordinierungszentren 252, 259
 Kord 148, 149, 155
 Korrosion 52, 93, 116, 181–184
 Korrosionsbeständigkeit 108, 162, 167, 178, 179
 Korrosionsbremsen 20, 123
 Korrosionsschäden 35, 181
 Korrosionsschutz 13, 36, 93, 113, 138, 181–184, 251, 252
 Kortikotropin 235
 Korunde 70, 110
 Kosmetik(a) 191, 220, 249, 258
 Kosmoschemie 128–130
 Kosten 8, 13, 23, 35, 38, 42, 45, 49, 50, 52, 55–58, 60, 73, 74, 82, 84, 86, 94, 97, 100, 113, 116, 118, 120, 123, 136, 140, 150, 163, 171, 184, 195, 204, 221, 242, 248, 253, 254
 Kracken 25–28, 49
 Kraftwerke 41, 42, 105, 119, 203
 Krebs 93, 222, 228–231
 Kreisprozesse 97, 98, 119
 Krieg 240–246
 Kriwoi Rog 174
 Kumarinverbindungen 206
 Kunstharze 35, 98, 108, 112, 133, 142, 145
 Kunstharzleime 137, 157
 Kunstseide 23, 184
 Kunststoffe, anorganische 137
- Kunststoffe, organische, s. Plaste
 Kupfer 7, 16, 18–20, 38, 102, 108, 109, 114, 128, 133, 172, 183, 184, 196, 209, 251, 255
 Kupferschiefer 36
 Kurs 19, 256
- Laboreinrichtungen 84
 Labormöbelproduktion 68
 Lacke 7, 27, 87, 95, 143, 144, 181 bis 183, 248, 256
 Landwirtschaft 12, 13, 137, 149, 194–216
 Laser(chemie) 13, 101–103
 Latex 147, 181, 182
 Lebenserwartung 238, 239
 Lebensstandard 12, 19, 193, 250
 Lettjancscher Sodaprozeß 17
 Leder 149, 184
 —, Knautschlackleder 87
 —, Synthesleder 101, 149, 156, 187
 Legierungen 20, 114, 130, 172, 177–181, 183, 256
 Leichtbau 140, 163, 170, 179, 187
 Leitungssysteme, automatisierte 86, 87
 Leistungstätigkeit 55, 57, 85–87, 252, 258
 Lernprozesse 234
 Leukämie 229, 231
 Leunawerke 16, 17, 22, 29, 55, 99, 106, 120, 122, 135, 187, 195, 253, 256, 257
 Licht 37, 98, 100–103, 138, 165, 166
 — bogen 102–105
 — drucktechnik 100
 — elektrischer Effekt 42
 — pausverfahren 99
 Lignin 33, 158, 180
 Lipoide 218
 Lithium(zelle) 20, (93), 118, 172
 Literatur 75–80, 260
 — auswertung 76–80
 —, Handbücher 78, 79
 —, rechen 76–79
 —, verschlüsselung 76, 77, 79
 —, Zeitschriften 75, 76, 78, 79
 —, zuwachs 75, 79
 Lizenzen 49, 245
 Lockstoffe, s. Pheromone
 Löhne 23, 74, 249
 LSD 232, 233
 Luft 21, 96, 103, 116, 150
 — verbrennung 202, 203
 Lysin 211, 212

- Magnesium 16, 19, 20, 23, 35, 37, 38, 117, 133, 246
 – chloridlauge 34
 – silikate 109, 128
 Magnetbildverfahren 99
 Malariebekämpfung 205, 222, 223
 Mangan 16, 18–21, 196, 209
 – knollen 20, 21
 Margarine 216, 217
 Markushformeln 76, 77
 Massenspektrometrie 84, 85, 88, Massenzahlen 88, 90, 92 235
 Materialaufwand 36
 Materialausnutzung 58, 193
 Mathematik 8, 61, 64, 80
 Mechanochemie, s. Tribochemie
 Medikamente, s. Arzneimittel
 Medizin 92, 93, 219–239
 Melioration 188
 Mengenmeßgeräte 59
 Menstruationszyklus 237
 Meproamat 231
 Mersol(at) 100
 Meskalin 232, 233
 Meßmethoden, s. Analytik
 Meß-, Steuer-, Regeltechnik 8, 47, 54, 57–60, 73, 74, 92, 201
 Metaboliten 230, 232
 Metall 7, 19–22, 34, 37, 40, 42, 93, 104, 107, 108, 111, 130, 137, 140, 162, 168, 173, 176, 179 bis 182, 184
 – atomsynthese 111
 – auflösung 114
 – bearbeitung, elektrochem. 114, 115
 – fäden 161, 178–180
 – nachweisgrenzen 93
 – organische Stoffe 111–113, 121, 146, 147, 201
 –, seltene Metalle 16, 20, 41, 102, 121
 – verdampfung 111
 Metallurgie 31, 34, 37, 93
 Meteoriten 128
 Methan 26, 27, 105, 109, 116
 Methanol 28, 62, 96, 103, 106, 116, 118, 119, 120, 212
 Methionin 211, 212
 MHD-Verfahren 39, 203
 Mikrobiologie 214–216, 224, 236
 Mikroorganismen 212, 215, 225, 229
 Mineraldünger 194–203
 Mineralöl, s. Erdöl
 Mineralstoffe 7, 209, 211, 218
 Mirathen 135
 Möbel, s. Plaste, Papier
 Möbelindustrie 141, 156, 157, 159
 Modifizierung 94, 124, 152, 154, 155, 157, 173
 Molekularbiologie 234, 239
 Molekularsiebe, s. Zeolithe
 Molybdän 18, 19, 104, 120, 172, 177, 196, 201, 202, 209
 Mond 128–130
 Monopole, s. Konzerne
 Monsanto Chemical 112, 246, 249
 Montage 46–48, 52, 74
 – kosten 163, 187
 Morphin 232
 Mottenfraßmittel 207
 Mückenschutzmittel 207
 Müll 20, 33, 34, 241, 243
 Mutterkornalkaloide 233
 Nährstoffanreicherung, s. Eutrophierung
 Nahrungsmittel 7, 12, 100, 152, 194, 195, 198, 201, 203, 211 bis 218, 235, 239
 –, synthetische 218
 Napalm 246
 Naphthene 26
 Narkotika 231–234
 Natrium 118, 146
 Natriumchlorid 116
 Natriumdampfampfen 172
 Natronlauge 41, 113, 116, 254
 Neodym 20, 101
 Neon 101, 104
 Neptunium 88, 90
 Neuererbewegung 55
 Neutronengenerator 93
 Nickel 16, 18, 19, 21, 108, 114, 117, 128, 167, 177, 179, 180, 183, 217, 251
 Nitinole 179
 Nitride 105, 109, 171, 172
 Nitrierung (Metalle) 105, 178
 Nitrogenase 202
 Novopoloizk 253
 Nuklide, s. Isotope
 Nylon 112, 113, 121, 133, 143, 144
 Olefine, s. Alkene
 Olefinprogramm 256
 Ölsande 28
 Opiumalkaloide 232
 Ordnungszahlen 88, 90
 Organisation 46, 56, 57, 209
 Orotsäure 234
 Osmose (Thermo-) 40
 Östrogene 237, 238
 Ovovics 167
 Ovulation 210, 237
 Ovulationshemmer 237
 Oxosynthese 62, 122, 217
 Oxytozin 235
 Ozon 105
 Palladium 20, 116, 128
 Papier 23, 49, 158–161, 184
 – industrie 62, 131, 156
 –, Polymerpapier 160
 Paraffine, s. Alkane
 Paraffinoxydation 217
 Parexverfahren 41, 66
 Partialstrukturen 76, 78
 Patente 8, 37, 75, 77, 112, 205, 222, 223, 244–247
 Penicillin 215, 222, 223, 225
 Peptide 232, 235, 236, 238
 Periodensystem 88–91, 121, 224
 Perlon 132, 155
 Petrolchemie 24–27, 32, 52, 62, 252, 256
 Pflanzennährstoffe 194–203
 –, Mikronährstoffe 196, 197, 209
 Pflanzenschutz, integrierter 208
 Pflanzenschutzmittel 7, 11, 27, 121, 197, 204–208, 215, 241, 242, 251, 252, 256, 257
 Pfropfen 60, 146, 160
 Pharmazeutika, s. Arzneimittel
 Pharmazie 45, 215, 219–239, 249
 Phenole 96, 125, 158, 251, 255
 Phenoplaste 133–135, 137, 145, 180
 Pheromone 207
 Phosphatsubstitute 135
 Phosphor 21, 111, 128, 137, 183, 194, 196
 – pentoxid 194, 195
 – säureester 206
 Phthalsäureanhydrid 62
 pH-Wert 58, 63, 82, 182, 231
 Physik 8, 42, 101, 104, 165
 Piesteritz 50, 192, 195, 254
 Pigmente 182
 Pille (Antibaby-, Antisperm-) 236–238
 Plasmachemie 30, 104–107, 203
 Plasmochin 222
 Plasmotron 105, 106
 Plaste 7, 27, 28, 37, 100, 113, 133, 137, 158, 159, 170, 179, 180, 184, 187, 193, 201, 249, 251, 256, 258
 – im Automobilbau 144, 145
 – im Bauwesen 137–142, 188

- Plastbildung 133
- folien(papiere) 39, 155, 156, (160), 161, 187, 199
 - , glasfaserverstärkte 133, 138 bis 140, 142–145, 164, 165, 179, 180, 255
 - , hitzebeständige 136, 137
 - im Möbelbau 140
 - organe 148, 228, 229
 - produktion 131, 132
 - im Sport 137, 142–143
 - typen 133, 135, 137, 253
 - verpackung 160, 161
 - , Wiederverwendung 35, 242
- Platin 16, 18, 20, 26, 37, 116, 121, 128
- Plutonium 43, 88, 90, 93, 94
- Polaroidverfahren 98
- Polimir 253
- Polyaddition 133
- Polyakrylate 125, 133, 138, 144, 150, 182
- Polyakrylnitril 153–156
- fasern 62
- Polyamid 133, 136, 144, 145, 181, 182
- fasern 96, 112, 138, 150, 152 bis 156, 254
- Polyäthylen 7, 27, 38, 50, 94, 95, 120, 133–138, 141–144, 160, 256, 257
- Polyazetale 144, 145
- Polybutadien 122, 147
- Polybutylen 138
- Polyenalsynthese 217
- Polyesterfasern 13, 38, 100, 150 bis 156, 253
- Polyesterharze 133–139, 142 bis 145, 165, 180–183
- Polyformaldehyd 133
- fäden 152
- Polyimide 136, 142
- Polyisopren 147
- Polykarbonate 133, 144, 160
- Polykondensation 133
- Polymethol 150
- Polymerisation 50, 95, 97, 99, 100, 105f., 111, 113, 121, 132 bis 135, 146, 147, 153, 155, 253
- , Emulsionspolymerisation 147
 - , Formpolymerisation 155
 - , Fotopolymerisation 99
 - , Kopolymerisation 138, 142, 146, 152, 160
 - , Lösungsmittelpolymerisation 147
 - , Pffropfpolymerisation 134, 152, 155
- Polymerisation, stereospezifische 121, 146
- Polymethylmethakrylat 133
- Polyole 141
- Polyolefine 142, 160, 182, 187, 252
- Polypeptide 235
- Polypolyphosphate 123–125, 136
- Polypropylen 134, 137, 138, 141, 144, 160, 254, 256, 257
- Polystyrol 35, 133ff., 141, 160, 252
- Polysulfide 145
- Polysulfone 136
- Polyurethane 35, 72, 133, 134, 137, 138, 141–145, 148–150, 182, 183, 187, 248
- Polyvinylazetat 133, 181
- Polyvinylchlorid 35, 38, 94, 115, 133–138, 144, 150, 160, 163, 182, 187, 252, 255, 257
- Porzellen 171
- Präkursoren 224
- Prednison 226
- Preise 17, 18, 23, 73, 89, 90, 97, 116, 126, 133, 140, 158, 176, 193, 220
- Premnitz 62
- Produktionsausfälle 52
- Produktionsfondsabgaben 55, 244
- Produktionsrisiko 52
- Produktionsvorbereitung 56
- Profit 19, 220, 233, 242
- Progesteron 210, 237
- Prognosearbeit 8, 9
- Projektiertung 45, 47, 48, 50, 74, 184, 252, 255
- Pro-Kopf-Erzeugung 10, 11, 16, 35, 132, 156, 164, 170, 199, 211, 216, 220
- Promethium 88, 94
- Protosil 223
- Propylamin 77
- Propylen 26, 27, 120, 121, 138, 147, 217, 254–257
- oxid 27, 113
- Prostaglandine 228
- Proteasen 125
- Proteine, s. Eiweiß
- Prozeßanalyse 58, 59
- Prozeßführung, s. Reaktionsführung
- Prozeßgleichungen 63, 64
- Prozeßparameter 58
- Prozeßrechner 62–74
- Prozeßsteuerung, s. Steuerung
- Prozeßstufen 40, 113, 171, 254
- Psilozyin 232, 233
- Psychosen 231–234
- Pulverbeschichtung 82
- Pulvermetallurgie 179, 180
- Pyrit 21
- Pyrolyse 26, 62, 257
- Quadrupolmomente 81
- Qualifizierung 259–263
- Quantenchemie 80–81
- Quarz(kristalle) (110), 128, 171
- Quecksilber 92, 116, 254
- Radepur 231
- Radikationen 112
- Raffinerie(gase) 24, 25, (26), 27, 214
- Raketentreibstoff 106, 107, 121, 128, 129
- Rationalisierung 41, 54–57, 73, 74, 76, 80, 82, 92, 121, 184, 196
- Raumfahrttechnik 93, 94, 101, 117, 119, 129, 132, 137, 172, 177, 178, 180
- Raum-Zeit-Ausbeuten 50, 58, 114
- Rauschmittel 231–234
- Reaktionsauslösung 98–112
- Reaktionsbedingungen 40, 135
- Reaktionsfähigkeit 105, 106
- Reaktionsführung 40, 41, 50, 52, 58, 63, 108, 113, 119
- Reaktionsgeschwindigkeit 102, 105, 107, 116
- Reaktionsmechanismus 92, 102
- Reaktionsschaumgießen 141
- Reaktoren 46, 49–53, 58, 70, 92, 93, 97, 106, 109, 112, 119, 147, 180, 197, 216, 254
- Referativnyj Zhurnal Khimija 75, 79
- Reformierung 26, 62, 121
- Regelkreise 60, 73, 74
- Regelung 58–60, 92
- Regler 59, 60
- Regolit 129
- Reinigungsmittel, s. Waschmittel
- Rektifikation 40
- Reparatur, s. Instandhaltung
- Repellents 207
- Reserpin 231
- Resistenzerscheinungen 205, 208, 223
- Retarder 154
- RGW 11, 12, 28, 30, 36, 56, 60, 66, 78, 79, 123, 147, 168, 170, 173, 183, 195, 201, 241, 243, 252, 253, 256–259
- Rheuma(mittel) 224–226

- Rhodium 20
 Ribonuklease 235
 Robotron 62, 74
 Rohstoffe 7, 54, 105, 130, 158, 243, 251, 253, 256
 →, Assimilatrohstoffe 33, 34
 →, Bedarf 16, 17, 19, 32–36
 →, aus dem Meer 18, 20–23, 43
 →, metallische 18–21, 43
 →, nichtmetallische 21–35
 →, Nutzungsdauer 18, 19
 →, Preisbewegungen 17
 →, Ressourcen 16–36, 43, 168
 →, Sekundärrohstoffe 33–36
 Rohöldestillation 24, 25, 50, 62
 Rohrleitungen 60, 92, 138, 163, 184
 Rohrleitungsbau 47, 48, 138
 Röntgenstrahlung 129
 Rost 20, 169, 181–183
 Rubidium 20
 Rubine 101, 102, 110
 Sacharin 217
 SAG-Betriebe 252
 Salpetersäure 50, 96, 202
 Salvarsan 222
 Salzsäure 22, 39, 119
 Saphir(whisker) 180
 Sauerstoff 16, 21, 22, 29, 92, 97, 105, 115–120, 146, 150, 158, 172, 177, 202
 →, blasverfahren 176
 Schaumreiniger 126, 127
 Schaumstoffe 138–145, 149, 150, 170, 179, 187, 193, 200, 248
 Schelfgebiete 18
 Schilf 33, 158
 Schlämme 20, 34
 Schmieröl 35, 92
 Schockwellenmethode 106, 108
 Schrott 34, 36
 Schuhe 149, 150
 Schwangerschaftsstimulation 238
 Schwangerschaftsverhütung 236–238
 Schwarza 258
 Schwedt 9, 66, 188, 214
 Schwefel 21, 25, 28, 118, 128, 137, 146, 177, 251, 255, 258
 →, dioxyd 21, 97, 100, 242
 →, säure 21, 38, 50, 62, 107, 118, 119, 241, 256
 Schwerionenbeschleuniger 89 bis 92
 Seife 7, 87, 123, 125, 127, 216, 217
 Sekundärrohstoffe 18, 33–36
 Serum 191, 209, 225
 Sexualbiochemie 236–238
 Sexualhormone 236–238
 Siemens-Martin-Verfahren 176
 Silber 18, 108, 117, 128
 Silikate 7, 22, 123, 127, 130, 137, 161–173, 182, 193, 251
 Silikone 132–138, 148
 Silizide 171, 172
 Silizium 16, 166, 172, 193
 →, dioxyd 107, 145, 148, 161
 →, karbid 114, 176, 180
 Sintermetalle 116
 Skotophobin 232
 Smaragde 110
 Soda 17, 20, 38, 150
 Somatotropin 236
 Sonnenöfen 42
 Spanplatten 156, 157, 193
 Spektralanalyse 68, 102, 128
 Spektroskopie 84, 102, 103, 129
 Spezialisierung 222, 252, 253, 256, 258, 262
 Spinelle 70, 110
 Sprays 28, 126, 127
 Sprengstoffe 201, 240
 Sprintan 143
 Stahl 7, 17, 20, 23, 34, 38, 41, 107, 114, 131, 133, 137, 161, 163, 173–177, 180–184, 193, 241, 251
 →, Chrom-Nickel-Stahl 114, 167, 177, 178, 183
 →, korrosionsträger 183
 Standardisierung 36, 46, 47, 56, 64
 Steine, feuerfeste 104, 105
 →, künstliche 7, 22, 180
 Steingut(zeug) 171
 Steinsalz 20
 Stalleinrichtungen 60, 63
 Sterine 218
 Steroide 210, 224, 225, 231, 236
 Steuereinrichtungen 60, 62, 63, 74
 Steuerung, chemische Prozesse 59, 62–74
 →, Lebensprozesse 234–239
 Stickoxide 40, 96, 103, 105, 202, 203
 Stickstoff 21, 38, 80, 92, 99, 102, 111, 116, 137, 172, 194–196, 199–203, 254
 →, bindung 92, 201–203
 →, löste 230
 Stoffkreisläufe 22, 34–36, 41, 117, 244
 Stoffwechsel 92, 218, 227, 230, 239
 →, krankheiten 226
 Strahlenchemie 94–97, 138, 145, 157
 Strahlenquellen 93, 94, 97
 Strahlungsaushärtung 182
 Streptokinase 228
 Streptomycin 223
 Stroh 33, 158, 210
 Strontium 93, 96
 Strukturaufklärung 85, 236
 Strukturformeln 76–78, 105, 222
 Struktur-Wirkungsbeziehung 122, 224
 Stschokino 257
 Studium, Anforderungen 258 bis 263
 Styrol 135, 146–148
 Substitution 18, 36, 114, 125, 135, 157, 160, 163, 184, 193
 Sulfanilamid 223
 Sulfatablauge 212
 Sulfochlorierung 97, 100
 Sulf(on)amide 100, (223)
 Sulfonsäureester 100
 Supraleiter 20, 39, 40, 107
 Süßstoffe 216, 217
 Synthesefasern 7, 34, 113, 140, 153–155, 158, 160, 187, 251
 Synthesegas 26, 28–32, 97, 105
 Synthesen 7, 13, 29, 63, 85, 95 bis 101, 105–114, 121, 130, 146, 158, 201–203, 211, 212, 218, 222–236, 239
 Tantal 20, 108
 Tartan 142
 Technetium 20, 88
 Technologie 7, 8, 13, 19, 20, 36, 40, 44, 45, 48, 79, 103, 111, 126, 148, 152, 173, 198, 203, 208, 243, 244, 253
 Teer 7, 29, 103, 150
 Teflon 28, 95, 179
 Tenside 123–125, 127
 Terephthalsäure 150, 253
 Terramycin 223
 Testosteron 210, 237, 238
 Textilhilfsmittel 100, 150, 216, 253, 257
 Textilien 124, 125, 150–156, 158, 164, 251
 Textilveredelung 152, 153, 155
 Thermographie 99
 Thermoplaste 34, 35, 135, 136, 144, 145, 156
 Thesaurus 78, 79

- Thioplaste 138
 Thomasverfahren 176
 Thorium(dioxid) 20, 43, (104)
 Tierproduktion 208–211
 Titan 16, 19, 20, 129, 133, 172, 177
 bis 181
 – dioxid 105, 110, 182
 – tetrachlorid 105, 121
 Toluol 26, 27
 Ton, Tonerde 19, 20, 22, 104, 110,
 116, 117, 171
 Torf 32, 251
 Toxine 225
 Tracer 92
 Tragflughalle 138
 Tranquilizer 224, 231, 232
 Transurane 88–94
 Treibstoffe 7, 25, 26, 30, 45, 106,
 107, 121, 128, 129, 144, 158
 Trennmethode 40, 84, 85
 Tribochemie 111, 169
 Trinitrotoluol 89
 Trinkwasser 119, 155, 226
 Tryptophan 211

 Überleitung 7, 8, 44, 45
 Übertragungsverhältnis 45
 Ultraschall 217
 Umwelt 229, 241–244, 260
 – krise 243
 – schutz 192, 208, 241–244, 256
 – verschmutzung 33, 242, 250,
 256
 Union Carbide 248, 249
 Uran 18, 20, 21, 43, 88, 90, 91, 120
 – karbid 105
 Urease 235
 Ursamat, URS 60
 Ust-Ilimsk 256
 UV-Strahlen 22, 99, 100, 160, 166

 Vakuum 58, 111, 130, 144
 Vanadium 21, 172, 202
 Vasopressin 235
 Venus 129
 Verbindungen, Anzahl 13
 Verbrennung 34, 37, 38, 42
 Verbundwerkstoffe 72, 145, 154,
 157, 172, 173, 177, 179–181,
 193
 Verbundwirtschaft 54
 Verfahrensentwicklung 44, 45
 Verfahrenstechnik, Studium 259
 Verflechtung 8, 13, 52, 241, 252,
 258
 Verkockung 29, 31, 103
 Vernetzungen 97, 107, 136, 145
 bis 147

 Verneuilverfahren 110
 Verpackung 133, 141, 155, 159
 bis 161
 Verschmelzung 29, 30
 Versuchsanlagenbau 44, 46
 Vesicularprozeß 99
 Veterinärpharmaka 209, 220
 Vinylmonomere 22, 27, 30, 40,
 74, 105, 257
 Virustherapie 225
 Viskose 150, 154–156
 Vitamine 100, 158, 209, 211, 212,
 215, 217–219, 232, 239
 Vitrokerame 162, 167
 Vulkanisation 95, 145, 146

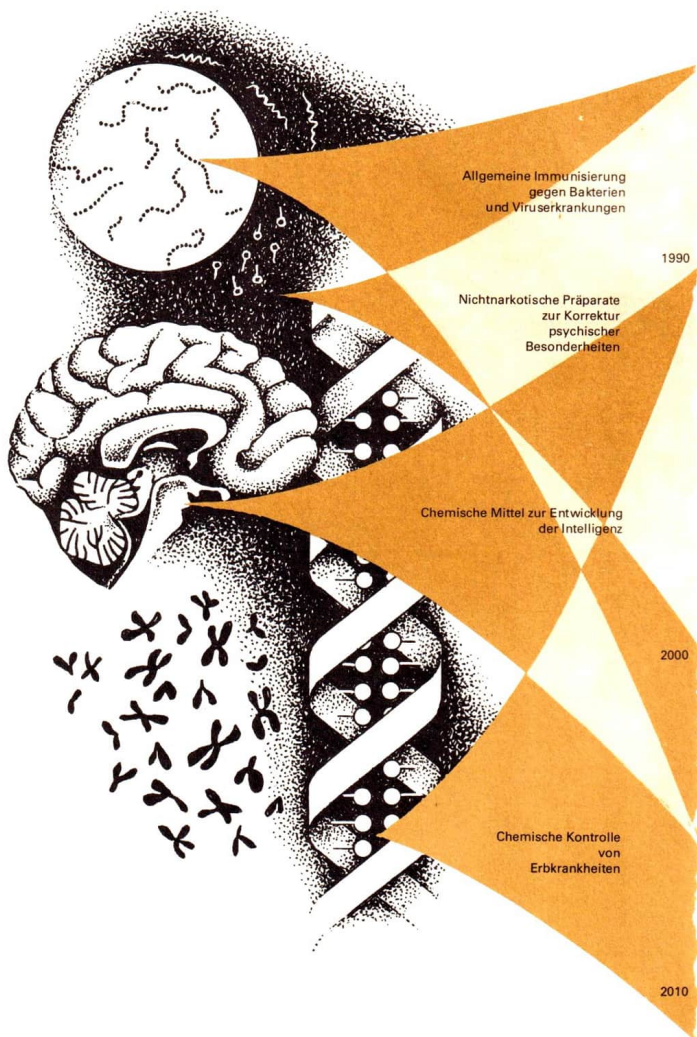
 Wachstumsregulatoren 200
 Wald 17, 20, 33, 34, 146
 Warenproduktion 36–38
 Wärmeextraktion 40
 Wärmeübertrager 40, 41, 49, 52,
 64, 66, 92, 175, 176, 202
 Waschmittel 27, 41, 66, 87, 100,
 121–127, 150
 Wasser 20–23, 39, 42, 97, 107,
 116, 117, 119, 120, 123–125,
 128, 130, 155, 160, 170, 202,
 217, 226, 255
 – dargebot 13, 22
 Wasserstoff 2, 25, 27, 29, 30, 40,
 42, 43, 97, 102, 103, 105, 107,
 116–122, 128–130, 176, 202,
 214, 217, 255
 – bombe 88
 –, metallischer 107
 – peroxid 172
 Weckamine 232
 Wegwerfmaterialien 159
 Weichmacher 27, 121, 125, 216
 Weißblech 183
 Weltraumtechnik, s. Raumfahrt-
 technik
 Werkstoffe 13, 22, 33, 37, 42, 48,
 61, 72, 104, 105, 108, 111, 114,
 115, 127, 128, 131–184
 –, Eigenschaften 133, 181
 Whisker 133, 179, 180
 Wirkprinzipien 40, 44, 237
 Wirkstoffe 7, 13, 204, 208–210,
 221, 224, 225
 Wirkungsgrade 38–42, 99, 106,
 111, 113, 115, 116, 119
 Wirtschaftskrise 10, 249, 250
 Wirtschaftsvereinigungen 99,
 257, 258
 Wissenschaftlich-technische Re-
 volution 13, 17, 84, 243,
 250

 Wissenschafts-Produktions-Ver-
 einigungen 46
 Wofatite 120, 121,
 Wolfram 16, 20, 98, 104, 114, 172,
 202, 251
 – karbid 108
 Wolpryla 62
 Wuchsstoffe 206, 215

 Xerographie 99
 Xylole 26, 27

 Zaluži 256
 Zäsium 96
 Zeitschriften, s. Literatur
 Zellstoff 7, 33–35, 156–160, 209,
 212, 251, 256
 Zelluloid 131
 Zellulose 33, 150, 152–156, 160,
 180, 212, 251
 – derivate 154, 156, 183
 – pulver 217
 Zellwolle 184
 Zement 7, 22, 34, 59, 169,
 170
 – industrie 62, 251
 – produktion 168, 169, 241
 Zeolith 41, 121
 Ziegel 171
 Zieglerkatalysatoren 121
 Zink 16, 18, 19, 107, 118, 196, 209,
 251
 – zyanamid 182
 Zinn 16, 18, 20, 90, 93, 183
 Zirkon 105, 129
 – dioxid 104, 105, 116,
 173
 Zitronensäure 215
 Zucker 23, 158, 200, 214–217
 – austauschstoffe 217
 – krankheit 221, 226
 Zuverlässigkeit, s. Betriebs-
 sicherheit
 –, von Werkstoffen 177
 Zwischenprodukte 26, 82, 102,
 112, 116, 121, 215, 216, 232,
 256, 257
 Zyanamid 112
 Zyaninfarbstoffe 100
 Zyklamat 217
 Zyklisierung, fotochem.
 100
 Zyklon B 246
 Zyklophosphamid 230
 Zyklotron 89
 Zystein 239
 Zytostatika 230–231

Voraussichtliche Ergebnisse med.-pharmaz. Forschungen



Antibabypillen
mit jahrelanger Wirkung

Einpflanzung künstlicher Organe

Beherrschung der
Übertragung
menschl. u. tier.
Organe

Krebserkrankungen
zu 2/3 unter
Kontrolle

Chemische Beeinflussung und
später Kontrolle der
Alterungsprozesse



