

Petrochemie als Grundlage der Kunststoffproduktion

Von Dr. A. V. BLOM, Locarno-Monti

Inhalt: 1. Problemstellung. 2. Erdölaufbereitung. 3. Methan. 4. Olefine. 5. Aromaten. 6. Petrochemische Zusammenhänge. 7. Wirtschaftliche Aspekte. 8. Zusammenfassung und Ausblick. 9. Übersichtstafel

I. Problemstellung

Wissenschaftliche Forschungsergebnisse, auf Produktionsvorgänge und Verfahrenstechnik angewandt, verwandelten in den letzten Jahrzehnten die chemische Technologie von Grund auf. Neue Gebiete entfalten sich, von denen wir hier als typisches Beispiel die Auswirkungen der Petrochemie auf die Kunststoffindustrie herausgreifen.

Unter dem Begriff «Petrochemie» verstehen wir die auf Nebenprodukte der Petroleumraffination als Rohstoffbasis gestützte Chemieproduktion. Im vergangenen Jahre erreichte sie ein Weltproduktionsvolumen von 16 Millionen Tonnen, wovon allerdings bloß 1,3 Millionen Tonnen auf Europa entfielen. Wir haben also viel aufzuholen!

Als Kunststoffe im weitesten Sinne des Wortes bezeichnet man Thermoplasten, härtbare Kunstharze, Synthetikgummi, Chemiefasern, Klebstoffe u. dgl. Hier beschränken wir uns auf makromolekulare, vollsynthetische Werkstoffe organisch-chemischer Natur. Ihre Produktion nimmt Jahr für Jahr zu, und es ist noch kein Ende dieser Tendenz abzusehen. Die unaufhaltsam fortschreitende Industrialisierung und die ständige Erhöhung des Lebensstandards einer wachsenden Bevölkerungsmenge schaffen fortlaufend zusätzlichen Bedarf und erschließen neue Anwendungsgebiete.

Für manchen Verwendungszweck haben die Kunststoffe begonnen Nichteisenmetalle zu ersetzen; innert vier Jahren haben sie ihre Konkurrenten überrundet. Ihr Produktionsvolumen ist doppelt so hoch. Beim Vergleich natürlicher Faserstoffe mit Chemiefasern fällt der Unterschied noch krasser aus. Die Produktionskapazität des Synthetikgummis hat diejenige von Naturkautschuk in manchen Ländern bald eingeholt.

Geht die Entwicklung im selben Tempo weiter, so wird das Rohstoffproblem bald akut. Schon heute haben Großprojekte der organisch-chemischen Kunststoffindustrie nur dann Aussicht auf Verwirklichung, wenn sie die Kohlenbasis nicht wesentlich stärker beanspruchen, oder aber man muß nach neuen Quellen für Ausgangsmaterialien Umschau halten.

In dieser heiklen Situation bringen neue Raffinationsmethoden der Erdölindustrie und die Erschließung ergiebiger Naturgasquellen eine fühlbare und zukunfts-trächtige Entlastung. Diese willkommene Ausweitung der Rohstoffbasis hat einen Umbruch eingeleitet, der in voller Entfaltung steht und mit dessen Auswirkungen wir uns hier befassen. Greifen wir aus dem umfangreichen Komplex der Vorgänge einige Probleme heraus, die den Chemiker besonders interessieren.

2. Die Erdölaufbereitung

Nach ihrer Zusammensetzung unterscheiden wir Erdöle von paraffinbasischem, naphthenbasischem, aromatisch-asphaltischem oder gemischtem Charakter. Die Aufarbeitungsmethoden richten sich sowohl nach der Ölqualität als nach der jeweiligen Marktlage für die Hauptprodukte. Gegenwärtig wird bevorzugt auf hochwertige Vergaserkraftstoffe hingearbeitet. Das braucht aber nicht immer so zu bleiben. Es zeichnen sich Möglichkeiten ab, daß in naher Zukunft Anforderungen der Petrochemie Umlagerungen im Produktionsprogramm veranlassen könnten. Wir werden darauf noch zurückkommen.

Die Ölreserven im Nahen Orient, auf die wir in Europa hauptsächlich angewiesen sind, schätzt man auf 80 Milliarden Barrel. Sie reichen also für petrochemische Zwecke auf unabschbare Zeit hinaus. Von der Weltproduktion des vergangenen Jahres an Rohöl im Umfange von 785 Millionen Tonnen stammten 152 Millionen aus dem Nahen Orient, und Westeuropa bezog davon 110 Millionen.

Aus dem Rohöl destilliert man zunächst bei Atmosphärendruck Benzin, Kerosin und Gasöl ab, was als *Topdestillation* bezeichnet wird. Gegenüber der fraktionierten Destillation, wie man sie im Laboratorium durchführt, hat sich in der Praxis die Methodik der fraktionierten Kondensation als wirtschaftlicher erwiesen und daher in den Raffinerien durchgesetzt. Sie besteht im Prinzip darin, das Rohöl in Röhrenöfen rasch so hoch zu erhitzen, bis die höchst siedenden Anteile sich verflüchtigen. Diese Temperatur liegt in der Regel um 300°C. Die entstandenen Dämpfe führt man in turmartige Kolonnen, die das Bild einer modernen Raffinerie kennzeichnen, in denen die Fraktionen sukzessive kondensiert und abgetrennt werden. Mit Hilfe elektronisch ge-

steuerter Instrumente kontrolliert und regelt man in der Topdestillation Temperaturen, Durchflüßmengen, Flüssigkeitspiegel und was sonst noch zur Betriebsführung erforderlich ist.

Die Fraktionen der Topdestillation besitzen in der Regel nicht marktfähige Qualitäten, müssen daher Veredlungsprozessen unterzogen werden. Dabei entstehen gasförmige Kohlenwasserstoffe durch Aufspaltung der kettenförmigen Moleküle. Man kann folgende drei Gruppen von Umwandlungsvorgängen unterscheiden:

- a) große Moleküle aufspalten,
- b) Verzweigungen an kettenförmigen Molekülen erzwingen,
- c) Ringschlüsse verwirklichen.

Häufig verlaufen bei thermisch und/oder katalytisch beschleunigten Prozessen Reaktionen aller drei Gruppen nebeneinander. Die abgespaltenen kleineren Moleküle bilden das Grundmaterial für die Petrochemie.

Rückstände der Topdestillation verarbeitet man auf Heizöl oder stellt durch Vakuumdestillation Schmieröle und Bitumen her. Neuerdings wandelt man sie bei günstiger Marktlage durch Hydrieren, Hydroformen oder katalytisches Kracken in hochwertige Vergaserkraftstoffe um, wobei petrochemisch nutzbare Spaltgase anfallen. Zur Aufarbeitung schwer trennbarer Gemische muß man manchmal zu azetropen oder extraktiven Destillationen Zuflucht nehmen.

Wie einstmalige Nebenprodukte der Kohlenaufbereitung immer wichtiger wurden und neue Bereiche der organisch-chemischen Industrie zur Blüte brachten (Teerfarben, Pharmazeutika, Insektizide), so setzt jetzt im Anschluß an die Erdölraffination eine Evolution ein, deren Auswirkungen noch gar nicht abzuschätzen sind. Aus allen Raffinationsnebenprodukten greifen wir diejenigen heraus, die für die Kunststoffindustrie als Rohstoffe wichtig geworden sind, und zwar

Paraffine: Methan,
Olefine: Äthylen, Propylen, Butylen,
Aromaten: Benzol, Xylole.

Früher schien die Umwandlung von Paraffinen kaum lohnend, da sie chemisch schwer angreifbar sind. Vor etwa dreißig Jahren begannen trotzdem unter der Leitung des amerikanischen Petroleuminstitutes systematische Studien über ihre spontane Oxydation. Man entwickelte Methoden, die inzwischen zur technischen Ausbeutung gelangten. Besonders die Verfahren zur partiellen Oxydation von Kohlenwasserstoffen mit Hilfe von reinem Sauerstoff sind im Begriffe, allerhand Umwälzungen in der Chemieproduktion hervorzurufen. Eine beträchtliche Auswahl paraffinischer Kohlenwasserstoffe steht für Synthesen zur Verfügung, seitdem man durch Superfraktionierung mit hohem Rücklaufanteil Isobutan, Isopentan und höhere Isoparaffine herstellt. Wir beschränken uns hier auf das Methan.

3. Methan

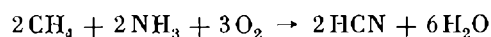
Aus Krackgasen und aus Naturgas steht dieser gesättigte Kohlenwasserstoff in fast unerschöpflichen Mengen zur Verfügung. Italien fördert jährlich $3\frac{1}{2}$ Milliarden m^3 Naturgas, wovon erst ein ganz geringer Prozentsatz petrochemisch ausgenützt wird. Primäre Ausgangsmaterialien für die Chemieproduktion aus Methan sind Kohlenoxyd, Acetylen und Wasserstoff.

Partielle Oxydation liefert bei $1500^\circ C$ innerhalb einer maximalen Kontaktdauer von einer Hundertstelskunde ein Gemisch von Kohlenoxyd und Wasserstoff, aus der Kohlenchemie als *Synthesegas* bekannt und in der chemischen Industrie verwendet. Es scheint, als ob das petrochemisch erzeugte Synthesegas in manchen Ländern Vorteile biete. Bereits stellt man Fabriktionen, die auch für die Kunststoffindustrie Bedeutung haben, darauf um. Zwei Druckverfahren, das eine von der *Shell Chemical Co.* entwickelt, das andere von der *Kellogg Co.*, will man demnächst mit der Abhitze von Atomreaktoren durchzuführen versuchen, damit die Petrochemie im Energiebezug von bisherigen Bezugsquellen unabhängig wird.

Seitdem die FISCHER-TROPSCH-Synthese sich auf Olefine ausdehnen ließ, kann der Oxo-Prozeß auf Erdölbasis gestellt werden. Die *Carbide & Carbon Chemicals Co.* fabrizierte im vergangenen Jahr über 25 000 Tonnen Oxo-Chemikalien. Demnächst wird die *Texas Eastman Co.* Decyl- und Neopentyl-Alkohol für hochwertige Weichmacher sowie Diöle für Polyurethane auf dieser Basis erzeugen.

Bei $1250^\circ C$ zerfällt Methan endotherm in *Acetylen* und Wasserstoff, womit die weitläufige und immer noch entwicklungsfähige Acetylenchemie eine erweiterte Rohstoffgrundlage erhält. Methyl-Methacrylate, Vinylchlorid, Vinylacetat und Vinylacetylen für Neopren erhalten dadurch eine breitere Rohstoffbasis.

Der anfallende Wasserstoff wird zum größten Teil in Ammoniak für die Landwirtschaft übergeführt. Aus Ammoniak und Kohlensäure erhält man Harnstoff, der mit Formaldehyd aus Synthesegas Harnstoffharze und Aminoplaste auf Grundlage der Petrochemie liefert. Bringt man Methan mit Ammoniak bei Gegenwart von Sauerstoff zur Reaktion, so entsteht Cyanwasserstoff nach folgender Gleichung:



Addiert man diese Verbindung an Acetylen, so gelangt man zu dem immer wichtiger werdenden *Acrylnitril*. Für Synthesekautschuk, für Chemiefasern und neuerdings zur Veredlung von Baumwolle braucht man es in steigenden Mengen. Die Fasern nehmen etwa 65%, der Nitrilkautschuk 17%, Plaste 5% und übrige Verwendungsweisen die restlichen 13% des Acrylnitrils in Anspruch. Allerdings ist augenblicklich seine Produktionskapazität fast doppelt so groß wie die Nachfrage, und man muß die Verkaufspreise reduzieren, um die Be-

triebe in Gang zu halten. So wirkt sich die Petrochemie immerhin für den Endverbraucher günstig aus.

Ein amerikanisches Werk wird demnächst Butadien und Flugzeugkraftstoff aus Methan produzieren, damit es sich jederzeit der schwankenden Marktlage anpassen kann. Steigt die Nachfrage nach Synthesekautschuk, so wird weniger Flugzeugkraftstoff hergestellt, und umgekehrt. Ähnliche Produktionskoppelungen treffen wir bei Olefinen und Aromaten an.

4. Olefine

Im Rohöl fehlen ungesättigte Kohlenwasserstoffe; sie entstehen erst im Laufe der Veredlungsprozesse in den Raffinerien. Vor etwa dreißig Jahren begann die *Shell Chemical Co.* mit der Ausarbeitung industriell durchführbarer Verfahren zur Verwertung der reaktionsfreudigen Olefine aus Krackgasen. Andere Firmen folgten auf diesem Wege und haben ebenfalls wichtige Fortschritte erzielt, wie in den folgenden Unterabschnitten gezeigt wird.

a) Äthylen

Über ein Dutzend Firmen stellen bereits Polyäthylen nach drei verschiedenen Verfahren her. Das *ICI*-Hochdruckverfahren steht in Konkurrenz mit den Niederdruckverfahren von *ZIEGLER* bzw. der *Phillips Chemical Co.* Immer neue Anwendungsgebiete erschließen sich diesem Kunststoff, dessen apolarer Charakter seine Verwendungsweise bedingt. Die französische Juteindustrie stellt sich jetzt auf dieses synthetische Material um. Ein stark verzweigtes Polymeres bewährt sich als Motorschmieröl unter extremen Beanspruchungen. Im Jahre 1950 produzierte die *Carbide & Carbon Chemical Co.* mehr Polyäthylen als alle anderen amerikanischen Produzenten zusammen; im kommenden Jahr wird diese Gesellschaft allein eine Kapazität von 113 000 t jato zur Verfügung haben. Die Weltproduktion hat sich im Laufe der letzten Jahre verdoppelt und liegt gegenwärtig bei 300 000 t jato. Eine interessante Kombination manifestiert sich in einem Konsortium der *Mannesmann AG* mit den *Farbwerken Hoechst AG* und der *Deutschen Erdöl AG*, das Polyäthylen sowohl aus Kokereigas als aus Erdölkrackgasen erzeugen will zur Großproduktion von Kunststoffröhren, die sich in korrosiven Böden besonders bewährten. Hier haben wir ein Musterbeispiel für das Zusammenwirken von Rohstoffproduzent, Chemiewerk mit Erfahrung in Kunststoffsynthesen und Hersteller von Gebrauchsgütern. Analoge Kombinationen gibt es in anderen Ländern.

Ein weites Anwendungsgebiet findet Äthylenoxyd, das entweder über Äthylenchlorhydrin oder neuerdings vorteilhafter durch direkte Oxydation hergestellt wird. Hydrieren führt zum Äthylenglykol, das für Polyester und demnächst in größter Menge für die Terylenfabrikation verbraucht wird. Aus dem Äthylenoxyd kann man auch Acrylnitril herstellen. Von örtlichen und wirtschaftlichen Bedingungen hängt es ab, wann dieser Weg

vorteilhafter ist als derjenige über Acetylen (siehe Abschnitt 3).

Durch Chlorieren von Äthylen gelangt man zum Dichloräthan, das unter Entzug von Chlorwasserstoff in Vinylchlorid übergeht. Auch hier kann manchmal der Weg über Acetylen wirtschaftlicher sein. Ein chloresulfoniertes Polyäthylen bringt der *Du Pont*-Konzern als kautschukähnliches Plastomeres mit besonderen Eigenschaften in den Handel.

Beim Alkylieren von Benzol mit Äthylen entsteht Äthylbenzol für die Fabrikation von Styrol. Dessen Weltproduktion hat die Grenze von einer halben Million t jato überschritten und nimmt immer noch stark zu.

Aus Äthylen, Kohlenoxyd und Wasser synthetisiert man nach *REPPE* Propionsäure und daraus Vinylpropionat, dessen Polymeres zunehmende Beachtung findet.

b) Propylen

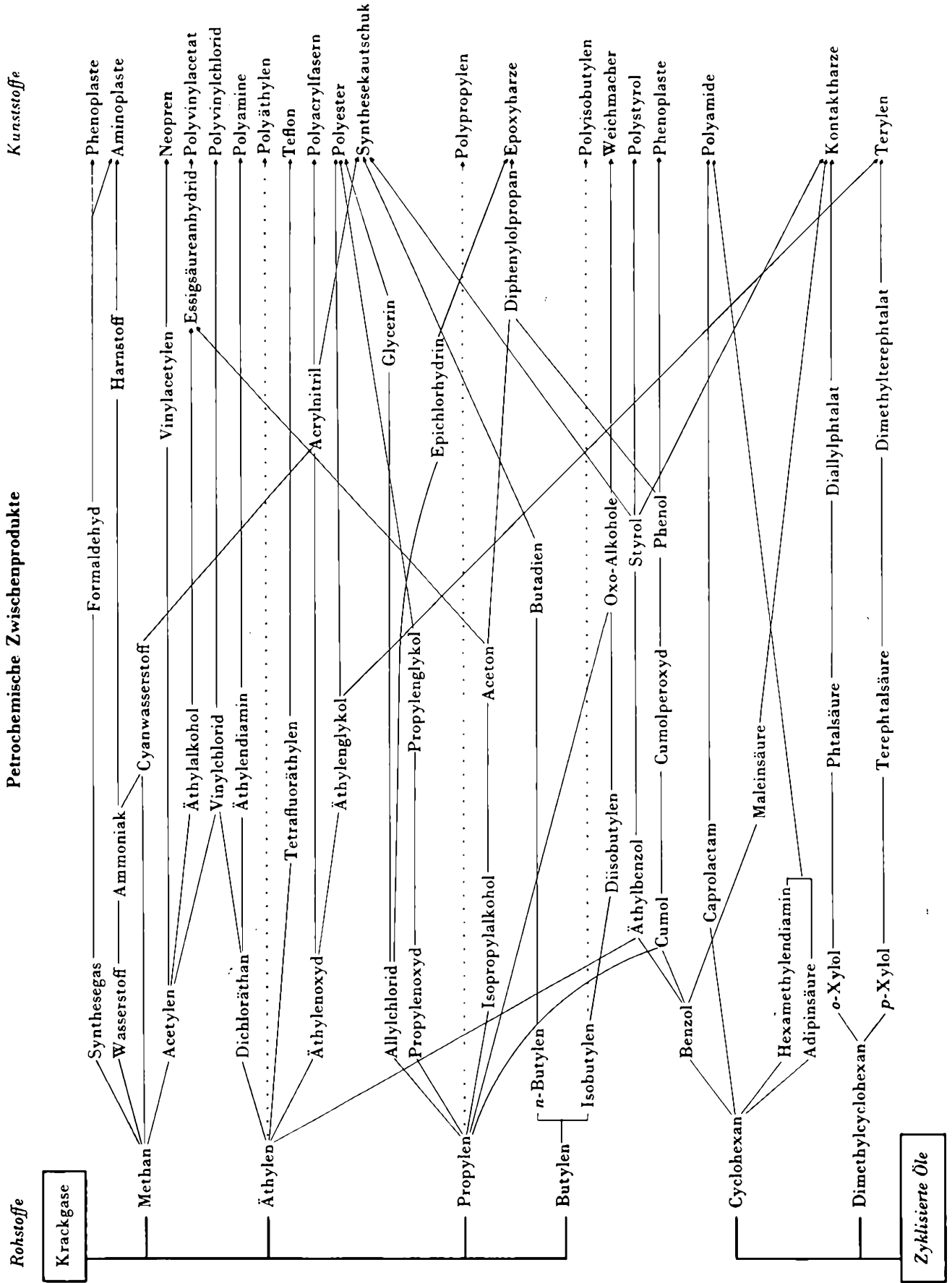
Von diesem Olefin verarbeitete man im vergangenen Jahr über 600 000 Tonnen. Ein beträchtlicher Teil wird in Isopropylalkohol übergeführt, der durch Dehydrieren Aceton liefert. Dieses Verfahren wird von der *Shell-St-Gobain S. A.* in der Nähe von Marseille und der *Shell Chemicals Ltd.* in England ausgebeutet. Auf Aceton stützen sich die Fabrikationen von Essigsäureanhydrid für die Acetatseide, von Diphenylolpropan für Epoxyharze und von Methyl-Methacrylaten. Im Oxo-Verfahren (siehe Abschnitt 3) wandelt man Propylen in Butyraldehyd um, der zur Herstellung von Sicherheitsglas-Zwischenschichten dient.

Die Chlorierung des Propylens bei sehr hohen Temperaturen erschloß der Petrochemie ganz neue Absatzgebiete. Zunächst bildet sich beim *Shell*-Verfahren Allylchlorid in guter Ausbeute. Aus dieser reaktionsfähigen Verbindung erhält man synthetisches Glycerin, das bereits von mehreren Fabriken auf diesem Wege fabriziert wird. Über Allylalkohol gelangt man zur Gruppe reaktionsfähiger Allylharze, von denen die ungesättigten Polyester der Kunststoffverarbeitung neue Wege eröffneten, indem die Kontaktharze bei gewöhnlicher Temperatur und ohne Druckanwendung verformbar sind.

Propylen reagiert mit Benzol bei 260°C und einem Druck von 28 atü in Gegenwart von Phosphorsäure als Katalysator unter Bildung von Cumol. Dessen Peroxyd spaltet sich in Phenol und Aceton im Verhältnis von 50 : 40, ein weiterer Fall von Reaktionskopplung. Dieser Prozeß, von *Hercules Powder Co.* und *Distillers Co.* gemeinschaftlich zur technischen Reife entwickelt, wird bereits in mehreren Ländern industriell ausgenützt.

c) Butylen

Aus diesem Olefin, wie übrigens auch aus dem Butan, erhält man Butadien je nach Umständen wirtschaftlicher als aus Acetylen. Da auch die beiden anderen hauptsächlichsten Komponenten synthetischer Elastomeren, Styrol und Acrylnitril, aus Raffineriegasen herstellbar



sind, mag an dieser Stelle ein Überblick über die Kautschukindustrie nützlich sein.

Der Weltverbrauch von *Kautschuk* liegt gegenwärtig bei 3,34 Millionen jato, wovon bereits mehr als ein Drittel auf synthetischem Wege gedeckt wird. Im europäischen Wirtschaftsraum entstehen demnächst weitere Synthesewerke. Diese Expansion ist aber nur auf petrochemischer Grundlage denkbar.

Während in den USA eine Erzeugungskapazität von 100 000 jato Synthesekautschuk für ein einzelnes Werk wirtschaftlich erscheint, dürfte für Europa etwa die Hälfte dieses Wertes zutreffen. In England ist ein Werk für 50 000 jato geplant, das aus einer *Esso*-Raffinerie Butan und von *Monsanto* Styrol bezieht. Das *Buna-Werk Hüls* wird 54 000 jato Kapazität aufweisen, Butan von verschiedenen Raffinerien und Styrol von den *Chemischen Werken Hüls AG* beziehen. In Frankreich entsteht ein neues Werk für die Fabrikation von Butylkautschuk bei Le Havre mit einer Jahresproduktion von 30 000 Tonnen. Italien stützt seinen Produktionsausbau auf das Naturgas der Poebene. Rußland will umfangreiche Werke für Synthesekautschuk errichten, um von Naturkautschuk völlig unabhängig zu werden. Eine interessante Erscheinung, die ein grelles Licht auf die wirtschaftlichen Umwälzungen infolge petrochemischer Expansion wirft, sei noch erwähnt. Die *N. V. Verenigde Deli Maatschappij*, ein niederländischer Kautschukplantagenkonzern, versucht eines der größten amerikanischen Synthesekautschukwerke aufzukaufen, um seinen Absatzmarkt nicht zu verlieren. Schließlich sei noch erwähnt, daß die *Phillips Petroleum Co.* ein reaktionsfähiges Polybutadien herausgebracht hat, das zur Modifikation und Veredelung von Lackharzen dient.

5. Aromaten

Aus geeigneten Rohölen erhält man durch extraktive Destillation oder auch durch katalytische Umformung zyklische Verbindungen. Das Catarolverfahren liefert ein Gemisch von aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen. Die *Carbon & Carbide Chemicals Co.* hat eine *BERGIUS*-Anlage zur Produktion von Aromaten in Betrieb genommen. Diese Erweiterung der Rohstoffgrundlage ist dringend notwendig geworden, denn auf Kohlenbasis hätten die gewaltigen Mengen Benzol und Xylol für den geplanten Ausbau der Kunststoffindustrie (z. B. Phenoplaste, Synthesekautschuk und Terylen) nicht beigebracht werden können.

Methylcyclopentan und Cyclohexan geben bei der Deshydroisomerisierung bzw. Deshydrogenisierung Benzol. Aus Dimethylcyclohexan entstehen die drei Xylole. Die Orthoverbindung geht in die Fabrikation der Phtalsäure für die Alkyde; die Paraverbindung dient zur Herstellung des Terephtalsäureesters, der, mit Äthylenglycol (siehe Abschnitt 4a) kondensiert, Terylen ergibt. Cyclohexan geht bei der Oxydation mit Stickstoffoxyd in Adipinsäure über. Da das Hexamethylen-diamin sich auf

dasselbe Ausgangsmaterial stützt, läßt sich die Nylonfabrikation vollständig auf petrochemischer Grundlage aufbauen.

6. Petrochemische Zusammenhänge

Fassen wir die in den Abschnitten 3 bis 5 erörterten Vorgänge zusammen, so läßt sich eine Übersichtstafel erstellen, wie auf Seite 108 gezeigt wird. Fast alle wichtigen Kunststoffe sind demnach aus Erdöl als Rohstoffquelle herstellbar. Häufig sind Zwischenprodukte oder Monomere wahlweise aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen zugänglich, was die Industrie elastisch und anpassungsfähig an Schwankungen in der Marktlage oder an Umstellungen in der Technik macht.

Aus der Tafel ergeben sich ferner Möglichkeiten, Kunststoffe oder Monomere auf die eine oder andere Zwischenproduktgruppe zu stützen. So läßt sich beispielsweise Acrylnitril aus Acetylen, Cyanwasserstoff und Synthesegas aufbauen; liegt für ein Werk aber das Äthylen als Ausgangsmaterial besonders günstig, so erhält man über Äthylenoxyd das Monomere. Vinylchlorid kann sowohl aus Acetylen als auch aus Dichloräthan hergestellt werden.

Reaktionskoppelungen, auf die wir bereits in den Abschnitten 3 und 4 hinwiesen, finden sich bei Phenoplasten und Epoxyharzen, die Propylen und Cyclohexan als Ausgangsmaterial benötigen. Das Terylen stützt sich auf Äthylen und Dimethylcyclohexan. Derartige Abhängigkeiten verschiedener Fabrikationsprozesse voneinander führt zwangsläufig zur Verflechtung chemischer Werke. Oft kann eine Fabrik bloß die eine Komponente in der geforderten Reinheit wirtschaftlich herstellen und muß eine andere dazukaufen. Da ist es logisch, wenn manchmal die beiden Lieferwerke sich organisch zusammenschließen, um den Markt richtig bedienen zu können.

Oft drängt sich eine Verflechtung in dem Sinne auf, daß eine Erdölgesellschaft zur rationellen Verwertung ihrer Raffineriegase mit einem chemischen Werk zusammenarbeitet, das bereits technisch durchgearbeitete Verfahren zur Herstellung hochwertiger Fertigprodukte besitzt. So vereinigte sich die Raffinerie *Shell-Berre* mit dem Chemiekonzern *St-Gobain*; die Raffinerie von *Mède* hat die Phenolproduktion mit der *Société Rhône-Poulenc* zusammen aufgenommen; *Péchiney* und *Kuhlmann* fabrizieren Polyäthylen neuerdings nicht mehr aus Kokereiabgasen, sondern aus Raffineriegasen der *British Petroleum Co.* Die *Badische Anilin- & Sodafabrik* wird aus Krackgasen der *Shell AG* 10 000 jato Polyäthylen und 12 000 jato Äthylbenzol produzieren, eine Betriebskoppelung besonderer Art. In Italien entwickelt der *Montecatini*-Konzern zusammen mit amerikanischen Erdölgesellschaften petrochemische Verfahren, die demnächst in die Praxis eingeführt werden sollen.

Gelegentlich geht die Entwicklung auch so, daß sich ein Chemiewerk eigene Raffinerieanlagen zulegt, um bestehende Betriebe von der Kohlenbasis auf Erdölbasis

umzustellen. Das ist beispielsweise der Fall bei der *Imperial Chemical Industries Ltd.* und bei den *Farbwerken Hoechst*. Umgekehrt nehmen Erdölgesellschaften selber die Fabrikation von Petrochemikalien auf, wie etwa die *Shell Chemicals Co.* zu den bisherigen chemischen Werken die *Petrochemicals Co. Ltd.* übernommen hat, zur Versorgung des englischen Marktes mit Chemikalien aus eigenen Raffineriegasen. Auch in Pernis werden an die große niederländische Raffinerie immer neue petrochemische Werke angegliedert.

Bisher ist Rohöl auf eine maximale Ausbeute an Kraftstoffen hin raffiniert worden. Bald war es Autbenzin von hoher Oktanzahl, bald Flugzeugkraftstoff, dann Dieselmotorkraftstoffe, auf die vorzugsweise hingearbeitet wurde. Besondere Raffinationsmethoden mußten entwickelt werden, damit den Anforderungen der Praxis entsprochen werden konnte. Seitdem die Petrochemie ihren Siegeslauf angetreten hat, gewinnen Olefine und Aromaten immer größere Bedeutung. Bereits macht sich die Tendenz bemerkbar, Raffinationsmethoden zu modifizieren oder neuartige Prozesse auszuarbeiten, die eine maximale Ausbeute an diesen Erdölwertstoffen liefern. Als Beispiel sei der Hochster «Koker» angeführt, der Rohöl oder Fraktionierückstände so krackt, daß die Ausbeute an wertvollen Olefinen möglichst groß wird; zurzeit soll sie bei 41 % liegen. Es ist weitgehend eine Frage der Kapitalbeschaffung, in welchem Tempo Rohstoffumstellungen in der chemischen Industrie möglich sind. Wir müssen daher auch die volkswirtschaftliche Seite dieses Problemkomplexes betrachten.

7. Wirtschaftliche Aspekte

Die Weltproduktion synthetischer organischer Werkstoffe liegt bei 2 ½ Millionen Tonnen, wovon zurzeit etwa die Hälfte auf petrochemischer Grundlage erzeugt werden. Im europäischen Wirtschaftsraum selber wird etwa ein Drittel der Weltproduktion fabriziert; die größten Produzenten waren im Jahre 1954

Westdeutschland	338 000 t
Großbritannien	250 000 t
Frankreich	78 000 t
Italien	57 000 t

Großbritannien, Frankreich und Italien besitzen gegenwärtig ein Raffineriepotential von mehr als 22 Millionen jato und können daher ihre Kunststoffproduktion weitgehend mit Erdöl als Rohstoffbasis betreiben. Mit etwa der Hälfte dieses Potentials folgen Westdeutschland und die Niederlande. Die übrigen europäischen Staaten werden Mühe haben, sich aktiv in diese Entwicklung einzuschalten.

Die Petrochemie zielt nicht darauf, Kohlenwertstoffe zu verdrängen. Ihre Bedeutung liegt darin, bereits eingeführten Fabrikationsprozessen eine breitere Rohstoffgrundlage zu bieten und neue Großprojekte, die man

bisher aus Sorge vor Engpässen zurückgestellt hatte, ihrer Verwirklichung näherzubringen.

In jedem Lande stellt sich zwischen Kohlenbasis und Erdölbasis ein anderes Gleichgewicht ein. Von merkantilen und politischen Erwägungen hängt es jeweils ab, ob eine bestehende Großproduktion auf eine andere Rohstoffgrundlage umgestellt werden soll. Aus betriebstechnischen und wirtschaftlichen Gründen ist man gezwungen, möglichst große Raffinerieinheiten aufzustellen, was gewaltige Investitionskosten verschlingt. Erst von einem gewissen Umsatzvolumen an gewinnt die Erdölaufbereitung den unerläßlichen Spielraum und die notwendige Anpassungsfähigkeit zur reibungslosen Befriedigung des oft unerwartet rasch wechselnden Bedarfes an bestimmten Produkten. Eine moderne Raffinerie verarbeitet innert zwei Tagen die Ladung eines großen Tankers. Bei diesem Fabrikationstempo können keinerlei Nebenprodukte ungenützt aufgestapelt werden.

Die Umwandlung von Raffineriegasen in Kunststoffe hat eine rund fünfzigfache Wertsteigerung zur Folge; bei Chemiefasern liegt diese Quote sogar doppelt so hoch. Es ist daher nicht verwunderlich, wenn die Petroleumindustrie sich lebhaft für dieses Gebiet interessiert und gewaltige Mittel für die Erstellung petrochemischer Werke investiert. Die bereits erwähnte Angliederung von Chemiebetrieben und die Verflechtung mit Chemiekonzernen im internationalen Ausmaße sind von diesem Gesichtspunkte aus zu verstehen.

Diese Evolution – es ist zum mindesten verfrüht, von einer zweiten technischen Revolution zu sprechen – bewirkt auch eine Verschiebung des Standortes von Raffinationsanlagen. Ursprünglich wurden sie nahe bei den Erdölfeldern errichtet, um die Transportkosten auf ein Minimum herabzudrücken. Mit der rapide ansteigenden Motorisierung stieg der Bedarf an hochwertigen Vergaserkraftstoffen dermaßen an, daß jedes größere Industrieland bestrebt war, eine Raffination nahe bei Einfuhrhäfen für Rohöl aufzustellen. So entstanden Zentren der Raffination in Lavéra bei Marseille, in Pernis bei Rotterdam, bei Hamburg usw. Diese Entwicklung wurde aus politischen Gründen beschleunigt; man erinnere sich an den Streit um Abadan und seine Auswirkungen.

Seitdem jedes Land mit hinreichend großem Raffineriepotential petrochemische Produktionen aufziehen kann, ändert sich die wirtschaftliche Situation. Die Raffinerien beginnen von den Petrolhäfen aus ins Innere des Kontinents vorzurücken, soweit sie schiffbare Flüsse oder Rohrleitungen für die Zufuhr von Rohöl zur Verfügung haben. Sie siedeln sich dort an, wo eine hochentwickelte Chemieproduktion zur Konsolidierung ihrer Rohstoffbasis teilweise oder vollständig von der Kohle auf Erdöl umstellt.

Auch natürlich vorkommende Rohstoffe der organisch-chemischen Technologie ersetzt in steigendem Maße die Petrochemie. Eine Aufgabe der Kunststoffe beruht ja gerade darauf, Werkstoffe und Gebrauchsgegenstände

unabhängig von ortsgebundenen Ausgangsmaterialien zu erzeugen. Großproduktionen werden dadurch wesentlich vereinfacht, die Produktivität der Fabriken gesteigert und die Qualitäten ausgeglichen. Sobald die Produktionskapazität von Synthekautschuk groß genug ist, werden Plantagen für andere Kulturpflanzen frei; dasselbe gilt für Baumwollplantagen im Zeitpunkte, da Chemiefasern billiger, besser und in hinreichender Menge herstellbar sind. Die Vermehrung landwirtschaftlich nutzbarer Anbauflächen stellt ja ohnehin ein weltwirtschaftliches Grundproblem dar, weil die Bevölkerungszahl rasch zunimmt.

Die ständig weiter vordringende Mechanisierung und Automatisierung petrochemischer Betriebe muß aufmerksam verfolgt werden. Wir stehen offensichtlich am Beginn einer neuen Stufe der technischen Entwicklung. Es würde zu weit führen, hier das Problem der *Automation* ausführlich zu behandeln. Nur einige Bemerkungen darüber seien angebracht, soweit sie jeden Betriebschemiker interessieren. Zwei Gruppen von Geräten zur automatischen Betriebsführung kann man unterscheiden: Muskelkraft ersparende verwendet man bei mechanisierten Operationen am laufenden Band, bei Abfüllmaschinen, Verlademechanismen und ähnlichen Vorrichtungen, wie sie etwa bei der Fabrikation von Massenartikeln aus Kunststoffen nützlich sein können. Die andere Gruppe ersetzt bis zu einem gewissen Grade Nervenkraft und Gehirntätigkeit. Sie ist für die chemische Industrie von Bedeutung und besteht aus elektronischen Kontrollinstrumenten von Dioden bis zu Transistoren, piezo-elektrischen Meßgeräten, photosensitiven Vorrichtungen, Fernsteuerungen mit Servomotoren und Verstärkerrohren, elektronischen Selbstkontrollgeräten und Geigerzählern für Kontrollfunktionen mit radioaktiven Isotopen.

Gelegentlich werden Befürchtungen laut, die automatisierte Betriebsführung könnte gefährliche Arbeitslosigkeit zur Folge haben. Man darf aber die gegenwärtige Situation nicht direkt in Parallele setzen zu derjenigen im Zeitalter der industriellen Revolution. Heute kennen wir die soziologischen Konsequenzen derartiger Umwälzungen in der Technik und können rechtzeitig vorsorgen. Die Arbeiterschaft wird durch die Automation entlastet und zu hochwertigen Leistungen angespornt. Ansprüche an Geschicklichkeit und Verantwortungsbewußtsein steigen. Bei erhöhter Produktivität und verbesserter Rentabilität können auch höhere Löhne gewährt werden. Der Lebensstandard wird gehoben – und das sollte ja auch das Ziel der Technik sein.

In der Erdölindustrie brachte die Automation gewaltige Fortschritte. Die laufende Produktion so enormer Mengen standardisierter Produkte wäre mit der erreichten Präzision ohne vollautomatische Kontrollen und Steuerungen undurchführbar. Raffinationsprozesse und petrochemische Verfahren eignen sich, weil sie kontinuierlich im gasförmigen oder flüssigen Zustande verlaufen, besonders gut für automatisierte Betriebsmetho-

den. Man mußte bei diesen neu auftauchenden Industriezweigen nicht mühsam alte, eingefahrene Prozesse umstellen und modernisieren, sondern konnte von Grund auf Neues schaffen und die letzten wissenschaftlichen und technischen Errungenschaften voll ausnützen. Heute gilt diese Industrie als Muster für ältere Betriebe.

Allerdings verfügt die Erdölindustrie über gewaltige Kapitalien, die zum Aufbau vollautomatischer Betriebe erforderlich sind. Man rechnet in den USA mit einem jährlichen Aufwand von etwa einer Milliarde Dollar zur Anschaffung der modernsten Steuerungs- und Kontrollautomaten, damit man den erwarteten Produktionsanstieg überhaupt bewältigen kann.

In der Kunststoffindustrie zeichnet sich eine Produktionssteigerung ab, die eine breitere Rohstoffgrundlage und eine hochentwickelte Fertigungstechnik dringend verlangt. Denken wir nur an die sprunghafte Zunahme des Textilverbrauches in den letzten zweihundert Jahren. Noch kurz vor der technische Ära, die mit der Einführung der Dampfmaschine einsetzte, besaß höchstens ein Mensch unter tausend ein Paar Strümpfe; heute findet man bei uns kaum mehr einen einzigen Menschen ohne diesen Luxus. Das ist nur möglich, weil die Chemiefasern inzwischen erfunden worden sind.

Da das Schicksal der Kunststoffchemie mit der Petrochemie eng verknüpft und verbunden ist, erweisen sich Fortschritte der einen Industriegruppe auch für die andere als fruchtbar. Daher greift die Automation, nachdem sie sich in der Erdölchemie so glänzend bewährt hat, unweigerlich auch auf die Kunststoffindustrie über. Bereits stehen raffiniert ausgeklügelte Kontroll- und Steuerungsmechanismen für die rasche Abwicklung von Massenproduktionen genormter Konsumgüter zur Verfügung. Dieser Entwicklungsprozeß ist nicht mehr aufzuhalten und drückt der anbrechenden Epoche ihren Stempel auf.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Wir behandelten die mit der Entfaltung der Petrochemie auftauchenden Probleme der organisch-chemischen Technologie und ihre volkswirtschaftlichen Aspekte in der Absicht, für die Beurteilung der gegenwärtigen Lage auf dem Kunststoffgebiet die richtige Perspektive zu finden. Das lebhafteste Bedürfnis, die Rohstoffbasis für die Produktion hochmolekularer Werkstoffe erheblich auszuweiten, wurde begründet. Die in lebhafter Entwicklung befindliche Petrochemie erweist sich zu diesem Zweck als vorzüglich geeignet.

An einigen Beispielen wurde gezeigt, wie Fabrikationsprozesse miteinander gekoppelt werden und schließlich internationale Verflechtungen zwischen Rohstofflieferanten, Zwischenproduktfabrikanten und Kunststoffproduzenten zustande kommen, die den Ausbau der Forschung und den industriellen Fortschritt wirksam zu fördern vermögen.

Schließlich beleuchteten wir die gesteigerte Dynamik der technischen Evolution infolge zunehmender Auto-