

Zur neueren Entwicklung der Kunststoffe¹

Von Dr. OTTO JORDAN, München

Die Kunststoffe mit Einschluß der Lackrohstoffe sind erst relativ spät in der Schweiz zu größerer technischer Erzeugung gelangt. Das hat tiefere Gründe. Als der alte SCHAAL in Feuerbach in den achtziger Jahren den Harzester fand, als BLUMER bzw. sein Chemiker MEYER um 1906 die ersten Lackphenollarze herausbrachte und 1908 BAERKELAND die Härbarkeit der Phenoplaste unter Hitze und Druck entdeckte, da waren die benötigten Rohstoffe ziemlich reichlich vorhanden oder doch in gewissem Umfange zu beschaffen, und es war die Einführung vor allem eine Frage der Gewöhnung der konservativen Verbraucher — und wir Europäer sind ja immer etwas konservativ gewesen — an die so völlig neuartigen Eigenschaften und die Verarbeitungstechnik der neuen Kunststoffe.

Als dann aber die Griesheimer Kollegen im Jahre 1912 das Polyvinylchlorid, Polyvinylacetat und Chloracetat fanden, als KRONSTEIN mit dem an sich schon bekannten Polystyrol sich beschäftigte und RÖHM das Methacrylat fand, da war an eine schnelle Auswertung solcher Arbeiten nicht zu denken, weil geeignete preiswürdige Rohstoffe dafür fehlten, die von der Kohle oder dem Erdöl hätten herkommen müssen. Für die Schweiz, welche weder Kohle noch Erdöl hat, war deshalb dieses Gebiet zunächst recht fernliegend.

Erst die großtechnische Entwicklung der Acetylenchemie, der Hydrierung und Gaskatalyse, welche aus anderen Notwendigkeiten heraus entsprang und bezeichnend für die Zeit zwischen den beiden Weltkriegen ist, schuf die Voraussetzung für eine erfolgreiche technische Bearbeitung der Kunststoffe und Lackrohstoffe und ihre weitere wissenschaftliche Durchbildung. An ihr haben dann die meisten industriell entwickelten Länder Anteil. Aus Deutschland kamen die Hauptentwicklungen der Acetylenchemie, der Hydrierung, an Kunststoffen Vinylchlorid, Vinylacetat, Acrylprodukte und Methacrylate, das erste großtechnische Polystyrol, die Polyurethane und die

Polyvinylchloridfaser, die Kunstkopale, die Lackharnstoffharze, wesentliche Schritte der Ölveredelung und viele andere; in England erschien der erste Chlorkautschuk, das Polyäthylen und die Perylenfaser; aus Amerika kamen die großtechnische, vor allem ingenieurseitig entwickelte aliphatische Gaschemie, ferner die Polyvinylacetale, viele Alkydharze, Maleinsäure, das Chloropren, Nylon, Silicone, Tetrafluoräthylen; aus der Schweiz schließlich die Anilinharze, Melaminharze, mancher Anstoß in der Cellulosechemie, ferner wirkten hier die großen Wissenschaftler des Kunststoffgebietes, K. H. MEYER und STAUDINGER.

Seitdem durch den ersten Weltkrieg das wirtschaftliche Gleichgewicht gestört war, arbeiteten die verschiedenen Industrieländer unter dem Zwange jeweils besonderer Verhältnisse: Deutschland aus Mangel an Überseerohstoffen, namentlich Erdöl, trocknendem Öl, Kautschuk und Fasern; Amerika aus dem Zwange, die vielen vorhandenen Erdgase für die Treibstoffherzeugung und Chemie zu verwerten; die Schweiz, weil sie mangels eigener Rohstoffe aus kleinen Mengen importierter Rohstoffe mit eigener Arbeit möglichst hochwertige Endprodukte zu erzeugen gezwungen war.

So sehr verschieden diese treibenden Kräfte waren und so verschieden auch die Rohstoffmöglichkeiten liegen, so darf man doch ohne Übertreibung sagen, daß die Zeit der zwanziger und dreißiger Jahre eine Zeit der gegenseitigen Befruchtung der internationalen Wissenschaft auf dem Gebiete der Kunststoffe und ihrer Vorprodukte in den verschiedenen Ländern war, und daß zugleich die Pionierarbeit geleistet wurde, welche den gewaltigen Aufschwung der Kunststoffchemie in den vierziger Jahren vorbereitete.

Fast alle diese Arbeiten liegen nun vor der Welt offen, jeder kann sie auswerten und weiterentwickeln und dies geschieht dort am leichtesten, wo die Rohstoffbasis am günstigsten, die Forschungsmöglichkeit am besten und der Verbraucherbedarf am größten ist. Diese Entwicklung wird vielseitige Umschichtungen auf den Weltmärkten zur Folge haben.

¹ Vortrag, gehalten vor der Basler chemischen Gesellschaft am 15. September 1948.

Ehe wir auf die Kunststoffe selbst übergehen, sei eine kurze Betrachtung der Rohstoffentwicklung gestattet. Die heute in den verschiedenen Ländern verwendeten Kunststoffe sind weitgehend die gleichen; ihre Urstoffe sind vor allem Acetylen, die niederen Olefine, Benzol und seine Homologen, Naphtalin, Methan und Kohlenoxyd. Man hat gelernt, viele davon ineinander umzuwandeln, und kann deshalb die gleichen Kunststoffe ebensowohl aus Kohle über Carbid, Hydrierung, Verschmelzung oder Verkokung als auch aus Erdöl und Erdgas herstellen. Die billige großtechnische Herstellung dieser Vorprodukte und damit auch der Kunststoffe wird also dort am erfolgreichsten sein, wo diese Ausgangsstoffe am billigsten sind. Nun haben Amerika und Rußland bei weitem die größten und billigsten Erdöl- und Erdgasquellen, sie haben ferner reichlich Kohle und gärungsfähige Landwirtschaftsprodukte, dazu billige elektrische Energie. International gesehen, werden sie deshalb in Zukunft auf den Weltmärkten führend sein können; allerdings fallen die Russen auf überschaubare Zeit deshalb aus, weil sie in der Chemie-Entwicklung, der Elektrotechnik und Apparatebautechnik sowie der Verkehrserschließung zu weit zurück sind. Für Amerika dagegen bestehen sehr günstige Aussichten, wenn auch dort der Ausdehnung gewisse Grenzen gezogen sind. Diese ergeben sich daraus, daß bei dem unvorstellbaren Aufschwung der amerikanischen Industrie-Erzeugung in den letzten Jahren das Land selbst vielfach nicht mehr genügend Rohstoffe, besonders Erdöl und Kohlenwertstoffe, aufbringen kann, um seinen Rohstoff- und Energiebedarf voll zu decken. Deshalb muß es sich in der Welt nach neuen Rohstoffquellen umsehen, sei es, daß man überseeisches Erdöl erschließt, sei es, daß man Erdgas durch Fernleitungen an die Verbrauchszentren heranbringt, sei es, daß man Kohle in schlecht abbaufähigen Flözen im Boden selbst unter Ableitung nur der Kohlenwertstoffe verkokt oder Braunkohle und Ölschiefer abbaut und umarbeitet. Alle diese Maßnahmen bedeuten aber eine gewisse Verteuerung der als Kunststoffrohprodukte dienenden Gase und deren Preisniveaus werden sich langsam gegeneinander neu einpegeln müssen.

Zurzeit kommt in Amerika praktisch alles Äthylen und seine Homologen aus Erdöl oder Erdgas, nur wenig aus Kohlendgasen, aus denen an der Ruhr Äthylen hauptsächlich gewonnen wurde. Benzol und Toluol sind nicht nur Kohlenwertstoffe, sondern entstammen in zunehmendem Maße dem Erdöl. Nur dadurch sind sie der ungeheuer gestiegenen Nachfrage einigermaßen gerecht worden. Phenol, bedeutender als je zuvor, wird zu 80 % synthetisch erzeugt, ist daher preislich nicht so durch die Preissteigerung erfaßt, während Kresol, dessen alleinige Quelle der Teer ist, sehr teuer und knapp bleibt. Naphtalin ist durch den nahezu unbegrenzten Bedarf an Phtal-

säure stark verteuert; neuerdings wird Phtalsäure daher aus o-Xylol des Erdöles katalytisch gewonnen. Außerdem arbeitet man an neuen Verfahren, die Oxydation von Naphtalin katalytisch in flüssiger statt in Gasform durchzuführen. Carbid ist dagegen relativ teuer und wird nur beschränkt zur Synthese herangezogen.

Neben den von Kohle und Erdöl ausgehenden Rohstoffen halten sich in Amerika vor allem noch die Gärungslösungsmittel in gewissem Umfange, dagegen steigt das aus Haferschalen und Maiskolben gewonnene Furfural immer mehr an Bedeutung; es wird in zunehmendem Maße ein wichtiges Zwischenprodukt für Nylon neben seinen vielen Verwendungen als selektives Lösungsmittel. Im allgemeinen sind im übrigen die Gärungsprodukte selbst aus billiger Melasse den aus Kohle und Erdöl erhältlichen Vorprodukten preislich unterlegen; deshalb stellt man im Frieden Butadien aus Erdöl und Erdgas und nicht mehr aus Gärungsalkohol her.

Im Gegensatz zu Amerika war in Deutschland der fast alleinige Urstoff für Kunststoffe die Kohle, die über Carbid, Verkokung, Verschmelzung und Hydrierung die verschiedenartigsten Vorprodukte liefern mußte. Damit lag und liegt Deutschland für den Weltexport preislich in zahlreichen Fällen nicht mehr konkurrenzfähig. Nur die auf das höchste verfeinerte und nun so ganz zerschlagene Verbundwirtschaft hat der deutschen Kunststoffchemie bis zum Zusammenbruch ihre führende Stellung in der Welt bewahrt, die in Zukunft auch nur annähernd wieder zu gewinnen völlig unmöglich ist.

Die für die Zukunft in Deutschland einzuschlagenden Wege sind dadurch schon vorgezeichnet und es genügt, hier auf die REPPE-Chemie und die BAYER-Arbeiten zu verweisen.

Ebenso und in noch stärkerem Maße wird die Schweiz, der auch noch die Kohle und das gärungsfähige Getreide fehlt, danach trachten müssen, mit wenig umfangreichen, sehr durchgebildeten Apparaturen und Verfahren aus wenig Vorprodukten viel an höchstwertigen Fertigerzeugnissen zu gewinnen und durch billigere Arbeitskräfte und verfeinerte sehr geschickte Arbeiter, die ja hier vorhanden sind, Methoden zur Anwendung zu bringen, welche den Vorsprung ausgleichen, den Amerika im Urstoffpreis und der Massenfertigung nun einmal besitzt. Hochwertige, so erzeugte Spezialitäten werden immer die amerikanische Massenerzeugung ergänzen können.

Wir betrachten nun die Lage der wichtigsten Kunststoffe. Im Vordergrund steht in Amerika das Polystyrol, uns in Europa als das Spritzgußmaterial par excellence bekannt. Es war vorzüglich, aber teuer. Wir spritzten Formkörper bis maximal 250 g Gewicht, Spezialtypen — namentlich Mischpolymerisate mit Acrylnitril und Vinylcarbazol er-

gaben gegen kochendes Wasser beständige Gegenstände —, wir spritzten ferner Buchdrucklettern usw. und walzten Filme unter gleichzeitigem Recken, wobei das Styroflex für elektrotechnische Spezialzwecke höchste Bedeutung bekam. Nur kleine Mengen wurden für Speziallacke eingesetzt. Diese Mischpolymerisate und Lettern macht man in Amerika noch nicht, zumal Carbazol nicht isoliert wird, dagegen arbeitet man über Styrol + Acrylnitril und erzeugt auch styroflexartige Folien.

Das deutsche Polystyrol konnte sich auf den Weltmärkten nur schwer gegen amerikanische Celluloseacetate einführen. Acetatseidenabfälle ergaben billigste Spritzpulver und die glasklaren und in Deutschland wegen Mangel an geeigneten Linters lange Zeit nicht in Klarheit und Zähigkeit nachstellbaren Spritzgußmassen beherrschten die Exportmärkte. Wir glaubten von Anfang an, daß gleichwohl die höherwertigen Artikel eines Tages aus Polystyrol gefertigt werden würden.

Dies ist in Amerika erst in den letzten zwei Jahren zur Tatsache geworden, seitdem die großtechnische Erzeugung des Polystyrol zu einem wahren Massenartikel gemacht hat, der billiger als Celluloseacetat ist und in Zukunft noch beträchtlich billiger werden kann, wobei die Amerikaner eigene, an sich nicht neue Polymerisationsverfahren anwenden. Die deutschen Verfahren halten sie für elegant, aber für ihre Verhältnisse zu teuer. Dadurch ist der Celluloseacetatverbrauch für Spritzguß beträchtlich zurückgegangen. Das Acetat zeigt in manchen Eigenschaften — vor allem Zähigkeit und Schlagfestigkeit — manche Vorteile, fällt aber doch in der Wärmebeständigkeit und Wasserfestigkeit, zum Teil auch im «Griff» ab, von den elektrotechnischen und chemikalienresistenten Eigenschaften zu schweigen. Deshalb setzt sich in den feuchtheißen Ländern, zu denen schließlich auch die USA zu rechnen sind, das Polystyrol bei entsprechenden Preisen schnell durch. In Ländern mit gemäßigttem Klima, wie der Schweiz, wird man zweifellos in vielen Fällen andere Maßstäbe anlegen und jedenfalls für Acetylcellulosepulver einen recht befriedigenden Markt aufbauen und halten können, zumal wenn weitere Weichmacher gefunden werden und der Preis günstig liegt.

Man spritzt in Amerika Formkörper bis zu 80 Unzen Gewicht, d. h. über 2 kg, aber nicht ohne Schwierigkeiten bei der Nahtbildung. Beim Einspritzen des Kunststoffes sinken Druck und Temperatur, und die Fließfähigkeit und Verschweißung an den Nahtstellen läßt oft zu wünschen übrig. Hier besonders merkt man, wie wenig wir über den Zustand der Kunststoffmolekeln in der Schmelze und beim Erstarren im Grunde noch wissen, und wie wenig wir die zurzeit als gegeben anzunehmenden Eigenschaften durch Vergütung usw. beeinflussen können.

In der Metallurgie hat man es mit kristalloiden definierten Systemen und Eutektika zu tun, so daß man Temperaturen, Vergütungen und standardisierte Eigenschaften relativ leicht auch beim Verarbeiter trottelfest («foolproof») handhaben kann. Ganz anders ist der feste Zustand der Kunststoffe. Wir wissen, daß die Masse aus Makromolekeln, aus Micellen oder aus Solvaten besteht, daß die Moleküle faltbar und orientierbar sind, und daß von der jeweiligen Molekellagerung die mechanischen Eigenschaften weitgehend abhängen. Die Schwankungen der Eigenschaften sind aber bei fast gleicher Verarbeitungstechnik in den Verarbeitungsmaschinen zum Beispiel beim Spritzguß viel größer als bei Metallen, und wir wissen über die Veränderung der Molekularform in Abhängigkeit von den Verarbeitungsbedingungen noch recht wenig. Man kommt daher bei Vergleichen von Versuchsergebnissen sehr leicht zu Trugschlüssen. Deshalb sei auch hier angeregt, bei allen wissenschaftlichen Veröffentlichungen über Zustand und Eigenschaften fester Kunststoffe jeweils genauestens die Arbeitsbedingungen der Herstellung der Formkörper anzugeben. Sie bedingen die Lagerung der Makromolekeln und deren Festlegung durch Molekollagerungskräfte, und man kann bei abweichend hergestellten verschiedenen Proben gemessene Werte nicht vergleichen, auch mit statistischen Methoden kaum auswerten.

Es begegnet hier, daß die auf die Form und Assoziation oder Solvation der Makromolekeln gerichteten Betrachtungen von KURT HANS MEYER und STAUDINGER, wenn man stets auf sie zurückgeht, das Verständnis weiterführen als ein großes statistisches Material und Zustandsschemata aus nicht exakt kontrollierter Verformung, wie man es in ausländischen Arbeiten oftmals noch findet. Die manchmal drüber geübte Methodik, eine große Zahl von Einzelmessungen bei nicht schärfst kontrollierter Herstellung durchzuführen, statistisch-mathematisch auszuwerten und daraus schematische Bilder für die Moleküllagerung im festen Kunststoff zu skizzieren, steht in einem gewissen Gegensatz zu den durch die genannten Forscher und durch wertvolle Messungen von BLOM entwickelten Anschauungen und Arbeitsweisen. In vielen Fällen wurde festgestellt, daß man mit der begrifflich zugänglicheren Art der konkreten Vorstellung in Europa bei manchen praktischen Kunststoffproblemen leichter die Lösung findet als auf mathematisch-statistischem Wege, der für andere Probleme natürlich seinen vollen Wert behält.

Von neueren Entwicklungen des Polystyrols seien Fäden, Borsten und Seide sowie ganz planliegende Folien aus Polystyrol für Spezialzwecke erwähnt. Es ist auch in Amerika nicht gelungen, die Haarrißbildung beim Stoßen zu verhindern.

Entwicklungsreich sind Arbeiten, Styrol und Alphamethylstyrol für Mischpolymerisate heranzuziehen, ferner Styrol - Maleinsäure, Styrol - Maleinsäureestergemische, welche vor allem mit Glasfäden unter niederem Druck durch Erwärmen auskondensieren und neuartige Materialien bilden, und schließlich sind wichtig die styrenierten Öle. Schon Anfang der dreißiger Jahre hat EIBNER in München in den Olovinen Vinylacetat in Standöle einpolymerisiert. In drei IG-Patenten wird auch die Polymerisation gewöhnlicher trocknender Öle zusammen mit Styrol, Vinylchlorid und Vinylacetat beschrieben, aber die ersten Produkte zeigten damals noch gegenüber den Alkydharzen einige Mängel und die Arbeiten sind wegen des hohen Gehaltes an ausländischen Ölen dann liegengeblieben. Jetzt haben England und Amerika solche Mischpolymerisate auf Styrolbasis durchgebildet. Man rühmt ihnen große zähe Härte, Trockengeschwindigkeit und Dauerhaftigkeit nach, sie bleiben lösungsmittelquellbar oder löslich.

Überragende Bedeutung hat ferner Polyvinylchlorid. Bei einer USA-Produktion von ca. 135000 Tonnen im Jahr erzeugte Deutschland maximal im Kriege 35000 Tonnen und zurzeit Westdeutschland unter 3000 Tonnen. In Europa hatten wir hauptsächlich Polyvinylchlorid aus Emulsionspolymerisation in Typen von verschiedenem K-Wert für Hart- und Weichverarbeitung entwickelt. Die Ware war hauptsächlich anorganisch, d. h. mit Soda, stabilisiert, weitere Licht- und Wärmestabilisatoren waren in Vorbereitung. Für Weichmacher für Polyvinylchlorid hatte sich etwa folgende Regel herausgebildet: Weichmacher vom Estertyp, welche bei verschiedenen Temperaturen eine nur wenig abweichende Viskosität besitzen, also eine flache VT-Kurve aufweisen, sind, soweit sie gute Löser für Polyvinylchlorid sind, nach LEILICH besonders günstig, da sie Massen ergeben, deren mechanische Eigenschaften über einem besonders weiten Temperaturbereich nur wenig voneinander abweichen, welche also sehr kältebeständig sind. Man kann mit solchen Weichmachern, von denen man ziemlich wenig braucht, besonders hochwertige Elektroisoliermaterialien herstellen. Für eine Vielzahl von Verwendungen muß man dagegen solche Weichmacher mit anderen, welche eine steile VT-Kurve besitzen, kombinieren und so die Massen der jeweiligen Verwendung optimal anpassen. Nicht ausgeschaltet wird dadurch die Wanderung der Weichmacher in mit dem Kunststoff sich berührenden Lacken oder anderen Massen.

Auf Grund solcher Überlegungen und von Arbeiten über die Lösegeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur waren auch die Polyvinylchloridpasten entstanden, Dispersionen von viel Kunststoff in wenig Weichmacher, welche erst bei erhöhter Temperatur gelieren und die endgültigen Form-

körper mit guten mechanischen Eigenschaften bilden.

Für glasklare Erzeugnisse wurden Mischpolymerisate mit Acrylat oder Maleinat verwendet. Solche mit Vinylacetat hatten nur untergeordnete Bedeutung. Auf Grund dieser Gesichtspunkte war es gelungen, die Verarbeitungstechnik und Verwendung der Polyvinylchloridmassen in weiteste Gebiete zu lenken und dabei zumindest befriedigende Durchschnittsqualitäten zu erzielen.

In Amerika hat man auf Grund der deutschen Erfahrungen die Emulsionspolymerisation beibehalten; Perlpolymerisation begegnet man selten. Dagegen wird grundsätzlich anders stabilisiert mit Hilfe gemischt-organischer Stabilisatoren, die zumindest gegen Verfärbung bei längerer Wärme-Einwirkung Verbesserungen bringen und gegen Licht schon beachtlich schützen. Die Entwicklung ist hier in schnellem Fluß, und man beobachtet ein Grundprinzip der amerikanischen Entwicklung. Wenn es jemandem gelingt, eine Verbesserung zu bringen, beispielsweise bei einem Mangan-trockenstoff eine Verbesserung der Farbzahl um 1° der Farbskala, so ist nach einer ziemlich kurzen Übergangszeit das bisher etwas geringere Standardmaterial kaum noch verkäuflich, gleichgültig, ob der Unterschied für den Verwendungszweck von Bedeutung ist oder nicht. Ein wesentlicher Gesichtspunkt der Fertigung ist Arbeitssicherheit und je höher der Standard der Rohstoffe gestellt wird, um so mehr mögliche Fehlerquellen schließt man aus.

Weiter werden in Amerika in viel größerem Maße Mischpolymerisate mit 6—25% Vinylacetat verwendet, deren Verarbeitung im Extruder oder auf der Walze eine etwas leichtere ist, und aus denen man auch wunderbar glasklare Formkörper sieht.

Bei den Weichmachern ist die Tendenz nach höchst-siedenden Weichmachern unverkennbar. Die Spitze hält Dioctylphthalat, ferner Benzylbutylphthalat, Acetyl-Ricinussäureester, Octyl-Arylphosphate, Octyl-adipat und -sebazat.

Es gibt in Amerika auch weichgummiartige Weichmacher, welche wenig wandern: die Paraplexe der G-Reihe. Die Verarbeitung auf Walzen und Extrudern ist ähnlich wie bei uns, die Extruder sind zum Teil wesentlich verfeinert. In der Nachbehandlung der Folien durch Mehrfarbeneffekte, Bedrucken und Einpressen von Spezialmustern sind die Amerikaner erstaunlich vorangeschritten.

Die Polyvinylchloridpasten führen sich nunmehr unter der Bezeichnung Plastisol ein und ergänzen die Organosole, in denen man Vinylpulver + Weichmacher in nicht lösenden flüchtigen Lösungsmitteln zu hochkonzentrierten Dispersionen verteilt. Es ist in diesen Fällen dann erforderlich, die damit erzeugten Überzüge in Trockenöfen bei 160° auszugelieren; für viele Zwecke richtet man sich hierauf ein in Er-

gänzung der früher nur bis 120° gehenden Trockenöfen.

Bei dem ungeheuren Umfang der Polyvinylchlorid-erzeugung ist es bemerkenswert, daß die sogenannte Hartverarbeitung ohne Weichmacher nur untergeordnete Bedeutung hat, und daß die deutsche Kunststoffschweißtechnik vorerst noch nicht in größerem Umfang geübt wird, aber sehr großes Interesse hat. Insgesamt ist das Polyvinylchloridgebiet trotz seiner heutigen überragenden Bedeutung immer noch im Aufbruch und läßt Raum für neue Techniken und Verwendungen. Die Lackverwendung ist noch einseitig, und es ist durchaus zu erwarten, daß weitere Steigerungen kommen. Da Möglichkeiten bestehen, daß sich mittlere Verbraucher Polyvinylchlorid nach besonderem Verfahren selbst in einfacher Weise herstellen, ist auch hier Platz für weitere Spezialisierung. Auch für die Schweiz wird unzweifelhaft dieses Gebiet in weitestem Sinne wesentlich größere Bedeutung erlangen können.

Die Hartverarbeitung von Polyvinylchlorid leidet im wesentlichen an der ungenügenden Wärmebeständigkeit, und deshalb hat sich für Platten und Rohre das Polyvinylidenchlorid stärker eingeführt, das ja kochfest ist. Das Ziehen von Formkörpern in Extrudern begegnet aber einigen Schwierigkeiten, und an den in eigenartiger Weise hergestellten Rohren zeigen sich schon mit warmem Wasser unter Umständen gefährliche Alterserscheinungen. Die Schweißbarkeit ist umstritten, und dies scheint mindestens teilweise mit der geringeren Stabilität zusammenzuhängen, die deshalb drüben nicht gerne erwähnt wird, weil ja die meisten Verarbeitungsapparaturen ohnehin verchromt oder säurefest sind. Einschränkend ist auch, daß wirklich geeignete Weichmacher fehlen und man nur Dispersionen lediglich plastifizieren kann.

Dagegen hat sich Polyvinylidenchlorid in Form einer kräftigen Faser eingeführt für abriebfeste Polstergewebe, namentlich in Autos, bei denen es neuerdings allerdings durch mit Kunststoffen veredelte, stark gewirnte Papiergarne eine beachtliche Konkurrenz erfährt.

Das Polyvinylidenchlorid ist somit im Vergleich zu Polyvinylchlorid ein begrenztes Produkt, das um so mehr leiden müßte, je mehr es gelingen würde, die Wärmebeständigkeit von Polyvinylchlorid zu steigern.

Polyvinylacetat ist einer der ältesten Kunststoffe. Im Gegensatz zu den vorerwähnten, wird dieses Produkt als Werkstoff kaum eingesetzt, da seine mechanischen Eigenschaften nur in einem viel zu engen Temperaturbereich gut sind. Dagegen ist es ein überaus vielseitiger Hilfsstoff, der in Lösung und Dispersion für Klebstoffe vielseitigste Anwendung findet, auch für Imprägnierungen Bedeutung hat. Die Emulsionsfarben, welche in Deutsch-

land so große Bedeutung für das Malergewerbe haben, sind in Amerika bisher mehr für industrielle Verarbeitung entwickelt, da die Holzhäuser und das abweichende Klima bisher die ölhaltigen Anstrichmittel begünstigten. Es sind aber auch hier Möglichkeiten offen. Dagegen ist Vinylacetat eine sehr bedeutende Komponente in der Mischpolymerisation mit Vinylchlorid in den Vinyliten.

Ferner ist es Rohstoff für die Polyvinylacetale. Diese sind, wie bekannt, das führende Bindemittel für splittersicheres Schichtenglas, das nach wie vor für Windschutzscheiben und Eisenbahnfenster ausschließlich und selbst für Autorück- und Seitenfenster vorzugsweise verwendet wird, obgleich für letztere das Temperglas (Sekurit) zugelassen ist. Dagegen hat dieses eine andere wichtige Anwendung gefunden, die Beachtung verdient: Man schreibt im gewerblichen Leben überall, wo eine Gefahr von Augenverletzungen auftreten könnte, das Tragen einfacher Temperglasbrillen vor und behauptet, dadurch Tausenden von Menschen das Augenlicht zu bewahren.

Darüber hinaus haben die Polyvinylacetale in organischen Lösungsmitteln und als Dispersion sehr erhebliche Bedeutung für flexible Unterlagen, namentlich Textilien und Papier, da ihre Überzüge in der Wärme klebfrei sind. Es gibt auch vorzügliche Kunstleder auf dieser Basis, selbst für Polsterungen. Leider sind diese Produkte in Europa bisher nicht richtig in Produktion gekommen.

Die Polyacrylate sind ebenfalls kein sehr geeigneter Kunststoff bzw. Werkstoff. Ihre Bedeutung beschränkt sich auf Speziallacke, Grundierungen und Emulsionen. Wenn sie nach den neuen deutschen Synthesen wesentlich billiger erzeugt werden können, dann ist mit einer beträchtlichen Steigerung zum Teil auf Kosten der Acetate zu rechnen. Dagegen wird dem Polyacrylnitril für Fasern und als Kunststoff große Bedeutung beigemessen.

Die Vinyläthylester stecken in den Kinderschuhen. Polyisobutylen hat wenige neue Entwicklungen, allenfalls sind die ölähnlichen Niederpolymeren zu erwähnen. Dagegen steht Polyäthylen in einer rapide zunehmenden Verwendung. Seine besonderen elektrischen Eigenschaften sind bekannt, die Schwierigkeiten der Verarbeitung ebenfalls. Man hat gelernt, beispielsweise Kabelumspritzungen und Schläuche unter kontrollierten Bedingungen durch offene Flämmchen oberflächlich nachzuschmelzen und damit Glätte und Vergütung zu erzielen, auch Polyäthylene im Spritzguß glatt zu verarbeiten. Sie werden daher auf einigen Gebieten dem Polyvinylchlorid Abbruch tun, ohne es jedoch ganz zu verdrängen, zumal sie nicht gut plastifizierbar sind. Die niederviskosen Typen von Wachscharakter werden bearbeitet, sind aber noch nicht erhältlich. Sie haben Interesse, weil der Paraffinpreis dauernd steigt.

Von den spezifisch amerikanischen Kunststoffen seien die *Silicone* nur am Rande erwähnt. Sie würden eine Sonderbetrachtung erfordern. Das Tetrafluoräthylen, welches wir Europäer zunächst wegen des Preises mit so großer Skepsis betrachtet haben, zumal es sich nur äußerst schwer verarbeiten läßt, hat sich wegen seiner chemischen Indifferenz und elektrischen Eigenschaften neben den Siliconen einige Spezialgebiete erobert. Leider läßt sich das Produkt bis jetzt mit keinem Mittel verkleben, so daß auch seine Verarbeitung vielfach recht teuer ist.

Die Bedeutung der *Polyamide* auf dem Kunststoffgebiet nimmt schnell zu, vor allem der außerordentlichen Zähigkeit wegen. Die *Polyurethane* haben noch keine praktische Bedeutung, werden aber ebenso wie die ganze *REPPE*-Chemie sehr stark besprochen und bearbeitet.

Von den härtbaren Harzen seien nur erwähnt die *Melaminharze*, die zum Teil mit *Harnstoff* kombiniert für das Knitterfest- und Schrumpffestmachen von Baumwolle außerordentliche Bedeutung gewonnen haben. Es wird in einigen Jahren kaum noch einen Baumwollartikel geben, den man nicht auf diese Weise schrumpffest macht, wie überhaupt auf die bedeutende Entwicklung von Kunststoffprodukten zur Veredelung von Textilien hingewiesen werden muß. Daneben versucht man in der Ledergerbung, solche Harze durch Vermittlung z. B. von Glyoxal mit den Polypeptiden der tierischen Haut chemisch zu verbinden, worüber auch in Deutschland schon gearbeitet wurde.

Auf dem *Phenoplast*-Gebiet dagegen sind wohl entscheidende weitere Entwicklungen vor allem aus neuen deutschen Arbeiten zu erwarten. Über das Anlagerungsprodukt von Epichlorhydrin an *p,p'*-Dioxydiphenyldimethylmethan liegen noch wenig praktische Ergebnisse vor.

Aus den Ausführungen ist zu entnehmen, daß der große Auftrieb der Kunststoffchemie teilweise in Amerika später als in Deutschland gekommen ist, doch hat man gewaltig aufgeholt und gesehen, was in Deutschland durch Forschung und Team-Arbeit geleistet worden ist. Man verweist auch auf die Erfolge der Russen in einigen großen Staatslaboratorien, wobei an das *KAPITZA*-Verfahren erinnert sei. Man ist zu der Überzeugung gekommen, daß die gewaltige wirtschaftliche Vormachtstellung Amerikas nur durch laufende Forschungsarbeit größten Ausmaßes in Zukunft gehalten werden kann. Dieser Arbeit dienen große staatliche Laboratorien wie auch die Industrielaboratorien. Die Hochschul-institute sind modernst eingerichtet, und es kann eine kleine Firma an der Universität eine «*fellowship*» erwerben und ihre Aufgaben wissenschaftlich bearbeiten lassen. Die führenden Köpfe unter den Forschern wanderten früher, wie bei uns, meist in

leitende Verwaltungsstellen der Industrie ab, weil sie dort besser bezahlt wurden. Man hat das geändert; der wissenschaftliche Laborchef verdient ebensoviel wie der Werksleiter und steht ihm im Range gleich. Für die Forschung werden über 800 Millionen Dollar jährlich ausgegeben, viermal soviel wie 1939. Aus diesen Tatsachen werden wir Europäer auch in unseren ärmlichen Verhältnissen lernen müssen, weil es eine Existenzfrage wird, durch Forschung neue, verbesserte Produkte zu schaffen. Als vorteilhaft haben sich übrigens die Chemie-Ingenieure erwiesen, die den Chemiker ergänzen und von vornherein auf die chemische Apparatechnik hin ausgebildet werden; daß dadurch manchmal die mathematisch-statistische Denkart des Ingenieurs auch in chemische Probleme stark hineingetragen wird, ist allerdings meines Erachtens nicht immer nur von Vorteil.

Einen besonderen Hinweis verdient die Bedeutung der *Anwendungstechnik*. Hierin war die *IG Farbenindustrie* Aktiengesellschaft in Deutschland vorbildlich. Ähnlich wie an unseren Hochschulen die Verbindung von Forschung und Lehre das wissenschaftliche Leben lebendig gestaltete, verband die *IG* den technischen Kundendienst mit der Prüfung der Eigenschaften und Anwendung neuer Produkte, oft mit der Produktionskontrolle, mit der Überwachung der Märkte und der Verbraucherbedürfnisse, ferner mit der Prüfmethodik, Grundlagenforschung und Ausarbeitung neuer Anwendungsmethoden, wobei oft auch Ingenieure mit dem Chemiker zusammenarbeiteten. Faßt man alle diese Aufgaben in einer Laboratoriumsorganisation zusammen, so erhält man wertvollste Befruchtungen.

In Amerika hat man vielfach heute noch ganz andere Arbeitsteilungen, aber im letzten Jahre angefangen, die gleichen Gesichtspunkte in den Vordergrund zu stellen, zumal sich gezeigt hat, daß die Zahl der hierfür geeigneten Menschen, die ja nicht nur gute Chemiker, sondern auch gute Praktiker mit kaufmännischem Verständnis und einem Gefühl für technische Entwicklungen sein müssen, sehr gering ist und eine vieljährige Ausbildung unter Ansammlung einer Unsumme praktischer Erfahrungen erforderlich ist.

Man kann zu dem Eindruck kommen, daß der erste Sturm neuer Kunststoffe vorbei ist und die nächste Entwicklungsstufe die sein wird, Bestehendes technisch zu konsolidieren und neue Verwendungen bekannter Kunststoffe zu entwickeln. Zweifellos sind aber neue Produkte und wesentlich verbesserte Verfahren auch in den nächsten Jahren zu erwarten, wofür ein Beispiel die Schaffung neuer Kunstkautschuke auf Grund deutscher auf anderen Gebieten angewandeter Verfahren darstellt.

Das Kunststoffgebiet in Amerika hat ein Umsatzvolumen von rund 600 000 Tonnen im Jahr und stellt

auf allen Gebieten einen unentbehrlichen Bestandteil modernen industriellen Lebens dar, ist auch ein Ausfuhrfaktor erster Größe. Der gesamte amerikanische Chemie-Export beträgt 600 Millionen Dollar, wovon die Kunststoffe heute schon einen nicht unerheblichen Anteil haben, obwohl sie noch nicht den amerikanischen Bedarf ganz decken. Man sieht, daß die Chemie in ein Zeitalter der Kunststoffe und Leichtmetalle eingetreten ist. Durch diese neuen künstlich bereiteten und geformten Werkstoffe erfolgt ein weiterer Schritt vom traditionell natürlichen Werkstoff mit festumrissenen und allgemein bekannten Eigenschaften, wie Holz, Leder, Eisen und Stahl, zum Artifizialen, zu neuen Materialien mit neuartigen, ungewohnten Eigenschaften, mit denen sich noch kein fester Begriff und kein Form- und Eigenschafts-

gefühl für die Mehrzahl der Menschen verbindet. Man mag gegenüber z. B. Kunststofftaschen die traditionelle Ledertasche bevorzugen, man muß aber zugeben, daß die Kunststoffe nicht mehr die Verarbeitung und Erscheinungsformen alter Werkstoffe nachahmen, sondern eigene Wege gehen, ähnlich wie es beim Übergang vom Zinngeschirr zu Porzellan und Steingut erfolgte. Die Kunststoffe schaffen zugleich Arbeit für viele Tausende und heben das Lebensniveau der Menschen. Sie erfordern wissenschaftliche Forschung und Gemeinschaftsarbeit, die die Menschen einander näherbringt. Man muß ihnen daher nach den erschreckenden Anwendungen im Kriege eine große Aufgabe und Entwicklung für friedliche Zwecke unter Weiterbildung unseres abendländischen Kulturempfindens wünschen.