

**Vakuumentziehverfahren, 1964**  
**(unbekannter Autor der Dynamit Nobel AG, Sparte Kunststoffe)**

## Das Vakuumtiefziehverfahren

Vortrag an der Staatl. Ingenieurschule für  
Maschinenwesen, Köln am 21. 5. 1964

Das wichtigste Verfahren der spanlosen Formung thermoplastischer Tafeln und Folien ist heute das Vakuumtiefziehverfahren.

Das Prinzip dieses Verfahrens ist folgendes:

Die Platte oder Folie wird auf einen luftdichten Formkasten, in dem sich die Form befindet, aufgespannt. Das Material wird erwärmt, bis es plastisch geworden ist. Die Temperaturen liegen je nach Materialart zwischen 120 und 180°C. Es kann elektrisch, mit Heißluft, mit Heißwasser, Dampf oder mit Infrarotstrahler geheizt werden. Die Beheizung erfolgt heute meist mittels Infrarotstrahlern. Nachdem die Platte die Verformungstemperatur erreicht hat, wird der Formkasten evakuiert, so daß die Folie durch den äußeren Luftdruck allseitig an die Form gedrückt wird. Dann kühlt man bis unterhalb des sog. Einfriertemperaturbereichs ab. Anschließend wird das Formteil von der Form genommen und mittels Trennsäge oder Schlagschere vom Spannrade befreit.

Die Bezeichnung "Vakuumtiefziehen" ist zwar weit verbreitet, entspricht jedoch nicht ganz den verfahrenstechnischen Gegebenheiten.

Beim Ziehen wird zwischen dem Ziehformen und dem Streckformen unterschieden. Der wesentliche Unterschied liegt darin, daß beim Ziehformen mit dem federnden Niederhalter, beim Streckformen hingegen mit festem Niederhalter gearbeitet wird.

Im ersten Fall kann das Material bei der Formung nachgleiten, die Materialdicke bleibt also annähernd gleich; beim Streckformen bedingt der feste Niederhalter demgegenüber eine weitgehende Änderung der Materialdicke.

Aus obigen Definitionen geht hervor, daß es sinnvoller wäre, nicht vom "Vakuumtiefziehen" sondern vom "Vakuumstreckformen" zu sprechen.

Wie bereits eingangs erwähnt, kommen beim Vakuumformverfahren thermoplastische Tafeln und Folien zur Verarbeitung.

Was sind Thermoplaste?

Thermoplaste sind aus Fadenmolekülen aufgebaute makromolekulare Stoffe, die wiederholbar wärmebildsam sind.

Im Molekül eines Thermoplasten sind 2 verschiedene Zusammenhaltsmechanismen zu unterscheiden: die chemischen Hauptvalenzen, die den Zusammenhalt der Molekülkette bewirken und die physikalischen Nebenvalenzen, die für den Zusammenhalt des Molekülketten-Verbandes sorgen. Letztere unterscheiden im technologischen Verhalten die Thermoplaste von den Duroplasten, deren Bindungsmechanismus ausschließlich auf chemischen Valenzbindungskräften beruhen.

Im Vergleich zu den Hauptvalenzkräften sind die Nebenvalenzkräfte sehr klein (10 kcal : 60 kcal). Hierdurch bedingt, werden mit steigender Temperatur die Nebenvalenzkräfte überwunden und ausgesprochene Änderungen der Zustandsformen bei Thermoplasten herbeigeführt. Diese Zustandsänderungen sind rein physikalischer Natur und deshalb reversibel, sofern nicht durch extrem hohe thermische Beanspruchung eine chemische Zersetzung des Materials stattgefunden hat.

Um die Eigenschaften eines Werkstoffes zu kennzeichnen, ermittelt man seine Zustandsbereiche in Abhängigkeit von der Temperatur.

Der feste Zustandsbereich wird gekennzeichnet durch die feste Gestalt des Halbzeugs. In diesem Zustandsbereich erfolgt die spangebende Bearbeitung, wie Bohren, Drehen, Fräsen, Sägen u.ä.

Der Erweichungstemperaturbereich (oder Einfriertemperatur ET) ist gekennzeichnet durch die Abnahme der Festigkeit innerhalb weniger Temperaturgrade. Der Übergang zum thermoelastischen Zustandsbereich ist durch einen hyperbolischen Abfall der Zugfestigkeit und einen starken Anstieg der Dehnung gekennzeichnet. Eine weitere Temperatursteigerung über den Erweichungstemperaturbereich hinaus, führt in den thermoelastischen Bereich, in dem das Material gummiartig elastisch und formbar wird. In diesem Temperaturbereich erreicht die Dehnfähigkeit des Kunststoffes ihr Maximum.

Weitere Temperaturerhöhung bringt die Thermoplaste über den Fließtemperaturbereich (FT) in den thermoplastischen Bereich, in dem sie teigig und zähflüssig sind. In diesem Bereich werden diese Kunststoffe z.B. durch Schweißen und Spritzen verarbeitet.

Wir haben nun die verschiedenen Zustandsbereiche der Thermoplaste kennengelernt und es ergibt sich die Frage: "Welche Konsequenzen sind daraus für die Verarbeitung des Materials im Vakuumformverfahren zu ziehen?"

Die Zugfestigkeit kann Aufschluß geben über den Formänderungswiderstand, d.h. über die für eine Verformung notwendige Kraft. Die Dehnung dagegen ist ein Maß für das Formänderungsvermögen, d.h. für die erzielbaren Verformungs- oder Reckgrade.

Im Bereich des Dehnungsanstiegs ist eine Umformung in jedem Falle zu vermeiden, da verhältnismäßig hohe Formungskräfte benötigt und entsprechende Spannungen im Material eingefroren werden. Das Material verhält sich kaltspröde und neigt zur Ribbildung. Nach Überschreiten des Dehnungsmaximums fällt die Formbarkeit des Materials wieder ab, man spricht allgemein von warmsprödem Verhalten.

Daher ist unbedingt darauf zu achten, daß die Formung des Materials bei der dem Dehnungsmaximum entsprechenden Temperatur durchgeführt wird. *Viel­fach tritt im thermoplastischen Bereich ein zweites Dehnungsmaximum auf*  
Im allgemeinen gilt das hier Gesagte für alle Thermoplasten. Eine Ausnahme bilden jedoch die sogenannten Polyolefine wie z.B. Polyäthylen und Polypropylen. Diese Gruppe der Thermoplaste besitzt neben einem amorphen Anteil des Makromoleküls einen solchen von kristalliner Struktur.

Im festen Zustandsbereich sind diese Werkstoffe ebenfalls hart. Nach Überschreiten der Einfriertemperatur (ET) bildet sich bei diesen Werkstoffen kein thermoelastischer Zustand aus, sondern sie bleiben infolge der versteifenden Wirkung der kristallinen Bereiche formstandfest. Die während der Temperatursteigerung zunehmende Beweglichkeit

der amorphen Anteile bewirkt eine allmähliche, geringfügige Erweichung.

Bei weiterer Erwärmung bricht schließlich an einem scharfen Temperaturpunkt die kristalline Ordnung zusammen und der formfeste Zustand geht unmittelbar in einen schmelzflüssigen, thermoplastischen Zustand über.

Für die Praxis der Vakuumformung ergibt sich daraus folgende Schwierigkeit:

Bei Temperaturen unterhalb des Schmelzpunktes ist die Festigkeit der Polyolefine so hoch, daß ein Umformen mit den relativ niedrigen verfügbaren Vakuumkräften erschwert wird. Bei Temperaturen oberhalb des Schmelzpunktes führt der plötzliche Abfall der Schmelzviskosität zu unerwünschten Fließ- und Klebeerscheinungen.

Es besteht nur ein sehr enger Temperaturbereich in dem die besten Ergebnisse beim Vakuumformen erzielt werden.

Die Vakuumformung unterscheidet zwei grundsätzliche Verformungsarten: das Positiv-Verfahren und das Negativ-Verfahren. Ist die Form konkav ausgestaltet, so spricht man von einer Negativ-Form, ist sie von konvexer Gestalt, so handelt es sich um eine Positiv-Form

Die älteste Art der Vakuumformung ist das Negativ-Verfahren, bei dem also eine Folie in eine flache Form hineingezogen wird. Die Anwendungsmöglichkeiten der reinen Negativ-Formung werden dadurch eingeschränkt, daß das zur Verformung kommende Kunststoffmaterial im Verhältnis zur Ziehtiefe der Formung progressiv verdünnt wird.

Die bei der Negativ-Formung ohne wesentliche Beeinträchtigung der Stabilität erreichbare Ziehtiefe beträgt im Allgemeinen ca. 40 % des Formdurchmessers. Diese Angabe kann jedoch nur eine sehr grobe Faustregel sein, da sehr viele Faktoren Einfluß auf die Verformung haben. So spielt z.B. eine wesentliche Rolle, ob eine verhältnismäßig tiefe Verformung aus einem 5 mm oder 2mm dicken Material erfolgen soll.

Die Positiv-Formung ist, wie bereits eingangs erwähnt, gekennzeichnet durch das Saugen der Tafel oder Folie auf eine konvexe Form. Da die Form in die aufgeheizte Folie eingefahren wird, ist die Positiv-Verformung fast immer mit einer mechanischen Vorstreckung des Materials verbunden. Die Positiv-Verformung bringt bei gleichem Verformungsgrad eine gegenüber der Negativ-Formung gleichmäßigere Materialverformung. *Leitung*

Neben dieser Tatsache, die bei der Entscheidung "positiv oder negativ?" eine Rolle spielt, ist auch zu berücksichtigen, daß die Folienseite, die mit der Form in Berührung kommt Markierungen erhält, die bereits durch Staubkörnchen auf der Form oder aber durch geringe Unebenheiten der Formoberfläche hervorgerufen werden können.

Bei Mehrfachformen bietet das Negativ-Verfahren den Vorteil der besseren Materialausnutzung, da hier im Gegensatz zum Positiv-Verfahren die Einzelformlinge absolut dicht aneinander gelegt werden können.

Die Hauptproblemstellung der Vakuumformung lautet:

Wie erreiche ich eine möglichst gleichmäßige Materialverteilung?

Kommt es darauf an, eine Negativ-Formung mit extremer Verstreckung durchzuführen, so kann der bereits erwähnten progressiven Materialverdünnung durch eine mechanische Vorstreckung weitgehend begegnet werden. Zu diesem Zwecke wird von dem Anlegen des Vakuums die durchheizte Folie mit einem Oberwerkzeug, das die ungefähre Gestalt der Negativ-Form besitzt, in die Form eingedrückt und die restliche Formung durch den Vakuumzug bewerkstelligt. Durch die Eintauchtiefe des Oberwerkzeuges in die Folie bzw. Form ist die Materialverteilung weitgehend variierbar. Ein tiefes Eintauchen bringt im allgemeinen dünne Seitenwände und dickere Böden, ein weniger tiefes Eintauchen führt zu dickeren Seitenwänden und dünneren Böden.

Der zur Vorstreckung einer Negativ-Formung dienende Stempel soll weder das Material zu stark abschrecken



noch das Material über die Verformungstemperatur hinaus erwärmen. Er muß glatt sein, so daß die Folie an seiner Oberfläche weitgehend abgleiten kann. Das Oberwerkzeug wird automatisch eingefahren, wobei dessen Bewegung und der Vakuumzug aufeinander abgestimmt werden können.

Da zwischen der Formtemperatur, die 50 - 60<sup>o</sup>C <sup>beträgt</sup> und der Temperatur der zu verformenden Folie mit ca. 120<sup>o</sup>C ein starkes Temperaturgefälle herrscht, führt die Positiv-Formung beim Einfahren der Form zu einer Abschreckung des Materials an der Stelle der primären Formberührung. An dieser Stelle bleibt die Ausgangsdicke der Folie nahezu erhalten, während die Seiten des Formlings bei extremer Verformung zu dünn ausgezogen werden. Hier kann die Anwendung einer pneumatischen Vorstreckung Abhilfe schaffen. Zu diesem Zwecke wird die auf die Verformungstemperatur gebrachte Folie mittels Preßluft zu einem Ballon aufgeblasen und damit bereits eine weitgehend gleichmäßige Materialverteilung erzielt. In diesen vorgestreckten Ballon wird dann die Form eingefahren und die Folie durch Vakuumzug an die Form angelegt.

Auch bei dieser Methode ist an der Stelle der ersten Formberührung das Entstehen sog. Schreckmarkierungen nicht ganz zu umgehen. Diese können bei extrem-starker Ausbildung auf eine zu niedrige Formtemperatur hindeuten.

Zu den bei der Positiv-Formung anzuwendenden Hilfsmitteln gehört das bei mehrfach-Formlingen gebräuchliche Vorstreckgitter. Da bei dichter Folge der einzelnen Formkörper die Gefahr besteht, daß zwischen denselben Materialfalten entstehen, wird dicht über der Folie am Einspannrahmen der Maschine ein Draht- oder Stangen-gitter angebracht, welches beim Auffahren der Form die Folie um jeden einzelnen Formkörper streift.

Besondere Bedeutung hat das Positiv-Verfahren bezüglich der Ausführung von Kaschierungen.

Früher wurde das Kaschieren von Möbelteilen, Koffern o.ä. durch Überspannen mit einer Folie von Hand durch-

geführt. Die Schwierigkeiten des Hand-Kaschierens lagen vor allem darin, Ecken und Kanten faltenfrei zu überziehen. Heute bietet sich beispielsweise für die Kaschierung eines Koffergehäuses mit einer ledergearbten Weich-PVC-Folie das Vakuum-Formverfahren.

Die gearbte Folie sowie die Oberfläche des zu kaschierenden Gehäuses werden mit einem geeigneten Kleber besprüht. Es handelt sich meist um Zwei-Komponentenkleber, die durch die Formungstemperatur aktiviert werden. Die beschichtete Folie wird in den Spannrahmen der Maschine eingespannt, während das mit Kleber versehene Gehäuse die Form bildet. Die Folie wird nach Erreichen der Formtemperatur durch Vorvakuum geringfügig angesaugt, die Form eingefahren und durch Anlegen des Vakuums die Kaschierung vollendet.

Durch das Anlegen des Vorvakuums erreicht man eine negative pneumatische Vorstreckung, die eine punktförmige Berührung der Folie in der Formmitte ermöglicht. Im weiteren Verlauf der Kaschierung wird die Folie zur Seite hin abgerollt, wodurch Luft einschließt der Oberfläche des Gehäuses vermieden werden.

Vielfach sind Verformungsarten weder als Positiv, noch als Negativ anzusprechen, sondern Kombinationen beider Arten. Ein klassisches Beispiel einer solchen Verformung ist der sog. Kühlschrank-Doppelwandbehälter. Hier handelt es sich um eine außerordentlich extreme Verformung von 400 - 500 % der ursprünglichen Oberfläche, bei der nicht nur an das Material sondern auch an die verfahrenstechnische Ausführung höchste Ansprüche gestellt wird. Bei einer Ausgangsmaterialdicke von ca. 6 mm bleibt eine durchschnittliche Wanddicke von 1 - 1,5 mm.

Wie bei jedem Formungsvorgang so tritt auch bei Vakuumformung eine Strukturveränderung im Material auf. Das Recken der Kunststoff-Folie führt zu einer Orientierung der Fadenmoleküle in Reckrichtung und damit zu einer Materialverfestigung in dieser Richtung. Senkrecht dazu tritt ein Festigkeitsabfall gegenüber dem Ausgangsmaterial ein. Dieser Umstand ist bei der Konstruktion eines Artikels zu berücksichtigen.



Von nicht unwesentlicher Bedeutung für die Eigenschaften einer Folie und das daraus gefertigte Teil ist die sog. Vorgesichte, d.h. die Art der Herstellung des Materials.

Zwei grundsätzliche Herstellungsverfahren für Folien und Platten sind zu unterscheiden:

- das Kalandrieren oder Walzen und
- das Extrudieren.

Bei beiden Verfahren treten innermolekulare Orientierungsvorgänge auf, d.h. die Padenmoleküle richten sich in Schließrichtung des Materials aus. Die gestreckten Makromoleküle haben das Bestreben, sich wieder auf ihre Ausgangslänge zusammen/zu/ziehen. Dieses Bestreben wird allgemein als Schrumpf bezeichnet. Je nach Höhe dieses Schrumpfs werden mehr oder weniger große Spannungen im geformten Artikel erzeugt. Solche Kunststoff<sup>artikel</sup>gewebe verziehen sich unter normalen Bedingungen zwar nicht, sind aber ~~xxxxxx~~ bruchanfällig.

Durch Tempern knapp unterhalb des Erweichungsbereiches kann man eingefrorene Spannungen im Innern des Materials ausgleichen.

Bei der Vakuumverformung von Material mit zu hoher Schrumpfung ergeben sich folgende Schwierigkeiten:

Durch die unterschiedliche Schrumpfung in Längs- und Querrichtung treten unterschiedliche Zugkräfte in dem eingespannten Material auf. Die verhältnismäßig hohe Längsschrumpfung wird bei einer höheren Temperatur überwunden als die Querschrumpfung. Bleibt man daher mit der Temperatur in dem für die Querschrumpfung erforderlichen Maß, so läuft man Gefahr, zu bereits vorhandenen Spannungen zusätzliche Einzufrieren. Erhöht man die Temperatur auf dem zur Überwindung der Längsschrumpfung erforderlichen Grad, so läuft die Folie in Querrichtung bereits davon. Als Ergebnis hat man Formteile mit ungleichmäßigen Wanddicken. Folie mit zu hohem Schrumpf neigt außerdem in Längsrichtung zum Herausziehen aus dem Halterahmen.

Die Höhe des Schrumpfes ist einer der qualitätsbestimmenden Faktoren bei Kunststoff-Folien und Platten.

Kalanderfolien werden nur bis zu einer Dicke von ca. 0,8 mm kalandriert. Dickere Tafeln werden durch Schichtung von ca. 0,25 mm dicken Einzelfolien und anschließendes Pressen zwischen polierten Blechen in heizbaren Etagenpressen kaschiert. Die Schichten sind homogen miteinander verschweißt, und mechanisch nicht trennbar. Der Vorteil eines solchen Materials liegt neben der hohen Oberflächengüte in der sehr niedrigen Schrumpfung. Spannungen in der Kalanderfolie können sich bei dem Tempervorgang in der Presse weitgehend ausgleichen. Ein solches Material ist einer Kalander- bzw. Extruderfolie weit überlegen und von höchster Qualität.

Die größte Fehlerquelle der Vakuumformung liegt in der Beheizung des Materials. Bei unsachgemäßer oder ungleichmäßiger Beheizung der Folie können extrem hohe Spannungen in einem Formteil eingefroren werden, die später durch äußere Einflüsse chemischer oder mechanischer Art zur Rißbildung führen können.

So ist es beispielsweise sehr kritisch, den Spannrand des Materials konstruktiv am Fertigteil mit einzuplanen. Am Übergang des Formlings zum Spannrand herrschen auf Grund des Temperaturgefälles zum Spannrahmen der Maschine erfahrungsgemäß höhere Spannungen.

Sehr oft wird eine gelungene Verformung bei der Abkühlung des Formlings auf der Form durch unsachgemäße Kühlung entwertet. Die sehr verbreitete Methode des Kühlens mit der Preßluftpistole führt oft infolge des starken konzentrierten Luftstrahles zu einer örtlichen Abschreckung des Materials und damit zu überhöhten Spannungen. Diese Spannungen können durch mechanische Einwirkung zum Bruch ~~xxx~~ oder durch chemische Einflüsse zu sog. Spannungsrissen führen.

Mit der gelungenen Verformung einer Folie ist der Arbeitsprozeß noch nicht abgeschlossen. Sehr oft gestaltet sich die Entformung eines Artikels als der schwierigste Teil des Verfahrens. Vor allem das Lösen des Formlings von der Positivform ist oft problematisch, da die Folie auf dem Formkörper aufschumpft. Besonders Polyäthylen zeigt neben starker Klebeerscheinung ein starkes Aufschumpfen auf die Form. Aus diesem Grunde ist es unumgänglich, die Seitenwände der Positivform mit einer Konizität von mindestens  $2^{\circ}$  zu versehen. Rechtwinklige Seitenwände sind nur bei flachen Positivformen verwendbar.

Hinter-Schneidungen sind nur dann mitzuformen, wenn der hinschnittene Formteil beweglich im Formkörper eingesetzt ist und bei der Entformung mit herausgleiten kann. Vielfach ist die Konstruktion so gestaltet, daß der bewegliche Formteil selbsttätig in seine Führung zurückgleitet.

Um größere ebene Flächen zu stabilisieren, empfiehlt es sich, soweit wie möglich Verstärkungsrippen und -sicken mit einzuförmern. Auf diese Weise erreicht man eine Stabilisierung des gesamten Formteils.

Die Ausbildung der Radien richtet sich stark nach der Art des zu verarbeitenden Materials, bzw. dessen Dicke. Verformungstechnisch am günstigsten sind selbstverständlich möglichst große Radien.

Der Einsatz vakuumgeformter Teile ist nicht nur von der zu erwartenden mechanischen, sondern vor allem auch von der thermischen Beanspruchung abhängig zu machen. Die auf der einen Seite begrüßte leichte Verformbarkeit der Thermoplaste bedeutet auf der anderen Seite eine Einschränkung des Einsatzgebietes infolge Rückformerscheinungen bei Wärmeeinwirkung. Bei der Wiedererwärmung eines Formlings auf Temperaturen oberhalb des Erweichungsbereichs bewirken die bei der Verformung eingefrorenen Spannungen eine Deformation des Körpers. Das sog. Rückstellbestreben ist abhängig von der Verformungstemperatur und der Verformungsgeschwindigkeit. Ein im thermoplastischen Bereich verformtes Teil ist temperaturstandfester als ein im thermoelastischen

Bereich verformtes. Mit wachsender Verformungsgeschwindigkeit nimmt das Rückstellbestreben des Formlings ab.

Beim Einsatz vakuumgeformter, thermisch beanspruchter Teile ist selbstverständlich zu unterscheiden zwischen solchen, die gleichzeitig einer mechanischen Belastung unterliegen und solchen, die mechanisch nicht belastet sind, wobei letztere thermisch höher zu beanspruchen sind.

Der Hauptvorteil des Vakuumformverfahrens liegt in den verhältnismäßig niedrigen Formkosten. Während das Spritzen und Pressen zwei Formhälften erforderlich macht, wird bei der Vakuumverformung nur mit einer Formhälfte gearbeitet. Dazu kommt, daß Spritz- und Preßwerkzeuge meist aus hochwertigen Stahllegierungen hergestellt sein müssen, während bei Vakuumformen je nach Stückzahl vielfach Holz als Werkstoff ausreicht. Bei kleinen Stückzahlen sowie bei großflächigen Teilen ist vielfach nur das Vakuumformverfahren für eine wirtschaftliche Fertigung geeignet.

Die Nachteile des Verfahrens liegen in der gegenüber dem Spritzgußverfahren geringeren Maßgenauigkeit. Je nach Form und Verformungsgrad muß bei der Vakuumformung im günstigsten Fall mit einer Wanddicken-Toleranz von  $\pm 30\%$  vom theoretischen Wert gerechnet werden. Ein weiterer Nachteil ist die erforderliche Bearbeitung verformter Artikel, die beim Spritzgußverfahren praktisch entfällt.

Die geringere Wärmestandfestigkeit vakuumgeformter Artikel gegenüber gespritzten Teilen ist auf die thermoelastische Formgebung gegenüber der thermoplastischen beim Spritzgußverfahren zurückzuführen.

#### Materialqualitäten

Aus der Vielzahl der für die Vakuumformung zur Verfügung stehenden Materialien, seien in diesem Zusammenhang nur 5 der wichtigsten herausgegriffen.

Es sind dies: Polystyrol,  
PVC u. PVC/MP,  
Polyäthylen,  
Celluloseacetobutyrat

a) Polystyrol

Das billigste und weitverbreiteste Material zur Vakuumformung ist das Polystyrol. Platten aus normalem Polystyrol haben den Nachteil einer verhältnismäßig hohen Sprödigkeit. Butadienmodifizierte Qualitäten, die als schlagfeste Sorten sowohl für das Spritzgußverfahren als auch zur Herstellung von Platten und Folien größte Bedeutung erlangt haben, lassen sich jedoch sehr gut verarbeiten. Sie zeichnen sich durch gutes Fließverhalten, großen Heizzeitintervall und gute Steifigkeit des Formlings aus.

Die günstigste Verformungstemperatur liegt bei ca.  $130^{\circ}\text{C}$ , die Formtemperatur bei ca.  $65^{\circ}\text{C}$ .

Schlagfestes Polystyrol ist heute das Material, welches in der Kühlschrankindustrie fast ausschließlich zur Herstellung von Innenbehältern und Türbomben Verwendung findet. Der Nachteil des schlagfesten Polystyrols liegt in seiner Alterung und geringen Lichtbeständigkeit. Das Material ist aufgrund dieser Eigenschaften für den Einsatz im Freien ungeeignet.

Unter der Bezeichnung hochschlagfestes Polystyrol sind sog. ABS-Polymerisate im Einsatz, die sich besonders durch hohe Kerbschlagfestigkeit auszeichnen.

b) PVC und PVC/MP

Auf der Basis von Polyvinylchlorid werden Folien und Tafeln geliefert, die sich besonders für die Vakuumverformung eignen. Zunächst wären die weicheren zu erwähnen, die hauptsächlich



im Verpackungssektor Einsatz finden. Die unter dem Namen ASTRALON gelieferten Tafeln stellen ein PVC-Mischpolymerisat dar, das bezüglich seiner Tiefzieheigenschaften nicht zu überbieten ist.

Eine Oberflächenvergrößerung um das 5-fache liegt bei Astralon im Bereich des Erprobten. (DIA 44)

Bemerkenswert dabei ist, daß die Tafeln nicht von vornherein die erforderliche Dicke haben; wie bereits eingangs erwähnt werden auf Kalandemdünn ausgezogene Folien (0,25 oder 0,5 mm dicke) in mehreren Schichten bis zur gewünschten Dicke aufeinander gelegt und zwischen beheizten Platten zusammengepreßt. Bei diesem Vorgang wird das Material vollkommen homogen zusammengeschweißt. Bei dieser thermischen Behandlung des Materials haben alle Spannungen, die das Material durch die Produktion naturbedingt enthält, Gelegenheit sich auszugleichen.

Darin liegt das Geheimnis der hohen Qualität der Astralon-Platte, die sich durch große Formbeständigkeit, Verzugslosigkeit und hohe Alterungsbeständigkeit auszeichnet.

Astralon nimmt kaum Wasser auf, quillt daher weder in Wasser noch in feuchter Luft.

Es ist beständig gegenüber fast allen verdünnten und konzentrierten Metallsalzlösungen, Alkalien und Säuren (Ausnahme konzentrierte Salpetersäure und Schwefelsäure). Transparentes Material kann unter Umständen getrübt werden.

Unbeständig gegenüber  $\text{NH}_3$ , Halogenen,  $\text{SO}_2$  in flüssiger Form.

Beständig gegenüber den meisten organischen Säuren niederen Alkoholen, aliphat.KW sowie pflanzlichen und tierischen Ölen. Astralon N und T werden von Konz. Ameisensäure u. Essigsäure angegriffen. Mit Ketonen, Estern, Äthern, Chlorkohlenwasserstoffen, Benzolwasserstoffen, arom.Aminen und Phenolen quillt Astralon.



c) Polyäthylen

Polyäthylen ist in verschiedenen Qualitäten auf dem Markt, und zwar als Hochdruck- und als Niederdruckpolyäthylen; auch Polypropylen (Trolen P) wird zu dieser Gruppe gerechnet. Hochdruckpolyäthylen ist bei Zimmertemperatur verhältnismäßig weichelastisch; daraus hergestellte Platten wären es bei erhöhter Temperatur erst recht. Daher scheidet diese Sorte für die Streckformung aus. Wohl kommen infrage das steifere Niederdruckpolyäthylen und das beinahe als hart zu bezeichnende Polypropylen. Bei der Vakuumverformung des Materials ist darauf zu achten, daß diesem die Wärme möglichst konzentriert zugeführt wird. Die Verformungstemperatur beträgt ca.  $135^{\circ}\text{C}$ . Die Schwierigkeiten bei der Verformung der Polyolefine wurden bereits eingangs erläutert. Formteile aus Polyäthylen zeichnen sich aus durch gute Wärme- und Kältebeständigkeit ( $+ 120$  bis  $-50^{\circ}$ ).

Ein besonderes Problem bildet der Schrumpf während und nach erfolgter Vakuum-Formung. Als weitere Nachteile sind die längeren Aufheiz- und Kühlzeiten anzusprechen.

d) Acetobutyrat

Mit Acetobutyrat steht ein Material zur Verfügung, daß sich durch besondere Licht- und Witterungsbeständigkeit auszeichnet. Es handelt sich um ein Cellulosederivat von außerordentlich guter Zähigkeit.

Vor dem Tiefziehen sollte das Material im Wärmeluftschrank getrocknet werden. Es hat sich erwiesen, daß bei 1,5 mm-Material eine Trockung von 1 Std. bei  $80^{\circ}\text{C}$  ausreicht.

Bei zu kalter Verformung von Acetobutyrat tritt eine weiße Verfärbung des Materials ein. Feuchtes Material zeigt bei längerer Aufheizzeit vor der Streckformung Blasenbildung, die vom Materialinnern ausgeht. Das Material ist prädestiniert für den Außeneinsatz; seine Witterungsbeständigkeit ist mit der von Acrylglas zu vergleichen.