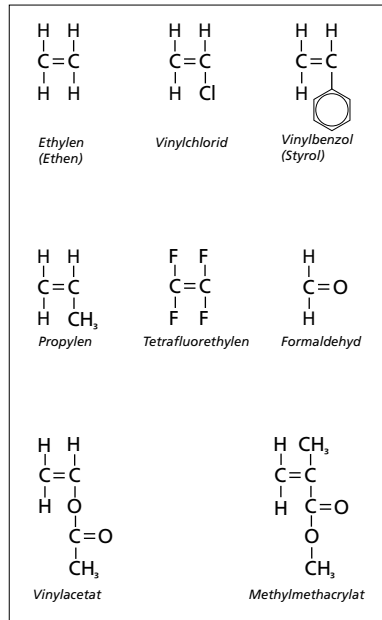


# Kunststoffe

Dr. Sascha Peters hat die Rubrik „Wissenswertes“ für die Kapitel Kunststoffe, Metalle, Papier, Holz, Textilien und Verbundwerkstoffe verfasst.

„Plaste und Elaste aus Schkopau“ hieß es bis vor der Wiedervereinigung auf einer Werbetafel des VEB Chemische Werke Buna. DDR-Wissenschaftlern war die westdeutsche Bezeichnung „Kunststoffe“ zu ungenau, da auch Glas und Industriesteine künstlich hergestellte Materialien sind. Die Ost-Bezeichnung grenzte also bei Wärme plastische Synthesewerkstoffe (Plaste) von elastischen (Elaste) ab. Heute sind diese Unterteilungen aus dem allgemeinen Sprachgebrauch verschwunden, auch wenn der Begriff „Kunststoffe“ nach wie vor unpräzise ist.



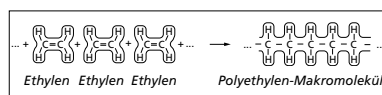
Auswahl einiger Monomere für die Kunststoffindustrie nach Hellerich, Harsch, Hanelle 2001 „Werkstoffführer Kunststoffe“

Die ersten Kunststoffe wurden Mitte des 19. Jahrhunderts aus Naturstoffen wie Cellulose oder Latex (Naturkautschuk) hergestellt. Bereits 1839 hatte Charles Goodyear ein Vulkanisationsverfahren zur Produktion dauerelastischer Materialien entdeckt und damit der Gummi-Industrie einen enormen Auftrieb verschafft. Fast schon als historisches Großereignis kann man den im Jahr 1870 durchgeführten Wettbewerb bezeichnen, der die Entwicklung eines preiswerten Ersatzwerkstoffs für das Elfenbein von Billardkugeln zum Ziel hatte. Die Gebrüder Hyatt gewannen diesen und zwar mit einem Verfahren zur Herstellung von Zelluloid, dem ersten nach Erwärmung plastischen Kunststoff (Thermoplast) überhaupt. Aus ihm wurden unter anderem die ersten Rollenfilme erzeugt. Der Werkstoff war damit Grundlage für die Ende des 19. Jahrhunderts aufkommende Filmindustrie.

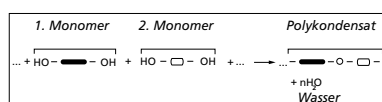
Heute gilt Erdöl als wichtigster Rohstofflieferant für Kohlenwasserstoffe, den Grundbausteinen der modernen Kunststoffindustrie. Aber auch in Kohle und Erdgas sind die wichtigen molekularen Polymerbestandteile in hochkonzentrierter Form vorhanden, die zur Herstellung von Kunststoffen notwendig sind. Scheinbar beliebig können diese zu langen und hochgradig vernetzten Molekülketten verknüpft werden. Komplexität, Struktur, Grad der Vernetzung und Art des Grundmoleküls (Monomer, griech. mono = einzeln) haben Einfluss auf das spätere Eigenschaftsprofil des Kunststoffes. Aus einer großen Anzahl einzelner Monomere entstehen Makromoleküle, die in der Fachsprache als Polymere (griech. poly = viel) bezeichnet werden. Daher beginnen die meisten Kunststoffnamen mit dem Wortstamm „Poly“ (z. B. Polystyrol, Polyethylen, Polycarbonat). Kunststoffe werden auch Polymerwerkstoffe genannt. Die wichtigsten Monomere sind Ethylen, Vinylchlorid, Vinylbenzol (Styrol), Propylen, Tetrafluorethylen, Formaldehyd, Vinylacetat und Methylmethacrylat.

## Herstellungsmethoden

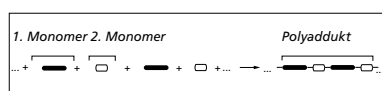
Bei der Bildung der Makromoleküle unterscheidet man die drei Reaktionsarten: Polymerisation, Polykondensation und Polyaddition. Zur Polymerisation werden die Doppelbindungen eines Monomers unter Einfluss von Katalysatoren sowie Druck und Wärme aufgebrochen und die Einzelbausteine ohne Abspaltung von Nebenprodukten aneinandergereiht. Es entstehen fadenförmige Makromoleküle ohne Vernetzung. Bringt man Monomere gleicher Struktur zur Reaktion wird von Homopolymerisation gesprochen. Mit Copolymerisation ist die Zusammenführung von zwei unterschiedlichen Monomerstrukturen gemeint. Polyolefine, Polystyrol (PS), Polymethylmethacrylat (PMMA/Acrylglas) oder Polyoxymethylen (POM) entstehen durch Homopolymerisation. Die Polystyrolvarianten ABS und SAN gehen beispielsweise auf unterschiedliche Monomerstrukturen zurück.



Polymerisation



Polykondensation



Polyaddition

Die Polykondensation ist ein mehrstufiger Prozess, bei dem reaktionsfähige Gruppen unterschiedlicher Grundmonomere eine Verbindung miteinander eingehen. Reaktionsfähige Atomgruppen sind beispielsweise  $-\text{OH}$ ,  $-\text{NH}_2$  oder  $-\text{COOH}$ . Der Vorgang kann an unterschiedlichen Stellen unterbrochen werden, was die Gewinnung von Zwischenprodukten möglich macht. Am Ende der Polykondensation sind die Molekularstrukturen engmaschig vernetzt. Sie lassen sich auch durch Zuführung von Wärme nicht oder nur wenig aufweichen. Viele Duroplaste (griech. duro = hart) gehen auf eine Polykondensation zurück. Aber auch Thermoplaste wie das Polyester PET oder Polyamid werden durch diese Bindungsreaktion erzeugt.

Charakteristisch für die Verknüpfung verschiedenartiger Molekülstrukturen bei der Polyaddition ist die Umlagerung von Wasserstoffatomen. Es können sowohl weit- als auch engmaschige Strukturen entstehen. Bei der Reaktion werden keine Nebenprodukte gebildet. Durch Polyaddition entstehen beispielsweise Epoxidharze. Außerdem ist die Technik bedeutend für die Polyurethanproduktion.

Allgemeines  
Kunststoff  
Gummi

Verbund-  
werkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und  
Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeits-  
schutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinself

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

## Einteilung der Kunststoffe

Die grundlegende Einteilung der synthetischen Werkstoffe erfolgt anhand von zwei charakteristischen Merkmalen. Zum einen hat das Verhalten nach Erwärmung einen großen Einfluss auf die Verarbeitungsmöglichkeiten und ist für den Anwendungszusammenhang interessant. Außerdem sind die elastischen Eigenschaften von großer Bedeutung. Die unterschiedlichen Charakteristika sind auf den Grad der Vernetzung der Makromolekülstrukturen zurückzuführen. Man unterscheidet Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere.

### Thermoplaste

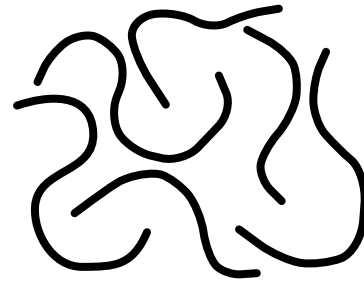
Die innere Struktur thermoplastischer Kunststoffe kann man wohl am besten mit einem Berg verklebter Spaghetti vergleichen. Die fadenförmigen Makromoleküle sind zwar ineinander verschlungen aber nicht miteinander vernetzt. Dies hat zur Folge, dass Thermoplaste zwar bei Raumtemperatur hart sind, sich aber unter Wärmezufuhr erweichen und somit umformen lassen. Steigt die Temperatur über einen gewissen Wert fließen die Fäden und der Kunststoff schmilzt. Er kann dann im Spritzgussverfahren oder durch Extrusion verarbeitet werden. Man unterscheidet amorphe und teilkristalline Thermoplaste. Bei den amorphen Thermoplasten sind die Molekülfäden wirt miteinander verschlungen und verfilzt. Sie kristallisieren nicht und sind daher glasklar mit guten optischen Eigenschaften (z. B. PMMA/Acrylglas). Im Vergleich weisen teilkristalline Thermoplaste geordnete Strukturbereiche und sind opak (z. B. PE-HD). Auf Grund der großen Bedeutung für technische Anwendungen sind Thermoplaste mengenmäßig die größte Gruppe unter den synthetischen Polymeren. Als Beispiele seien die vier wichtigsten genannt: Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Polyvinylchlorid (PVC). Diese vier Massenkunststoffe machen etwa zwei Drittel der gesamten Kunststoffproduktion aus. Sie begegnen uns alltäglich in Form von Verpackungen, Gerätegehäusen, Kofferschalen, Campingmöbeln, Surfbrettern, DVD-Hüllen oder PKW-Scheinwerfern, um nur einige Produktbeispiele zu nennen. Zur Erzielung besonderer Eigenschaften können unterschiedliche Thermoplastsorten auch gemischt werden. Die Mischungen nennt man Polymerblends.

### Duroplaste

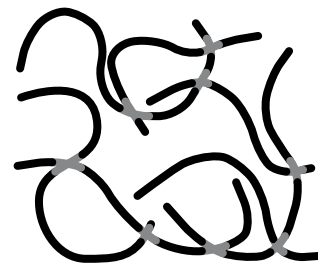
Im Gegensatz zu den Thermoplasten bleiben Duroplaste auch nach Erwärmung hart. Dies geht auf die starke Vernetzung der Molekülstrukturen zurück. Unter dem Mikroskop sehen Duroplaste aus wie ein dreidimensionales Fischernetz. Zwar geraten die Molekülketten bei Wärmezufuhr in Bewegung, das Netzwerk verhindert aber ein völliges Ablösen. Bei sehr hohen Temperaturen zerlegen sie sich dennoch in ihre Bestandteile. Duroplaste können trotzdem nicht so einfach verarbeitet werden wie Thermoplaste. Daher sind sie auch nicht so bekannt. Sie sind in weitergehenden Fertigungsschritten nur noch zerspanend zu bearbeiten. Der Klassiker unter den duroplastischen Kunststoffen ist Bakelit, ein Phenolharz, das auf Grund seiner isolierenden Eigenschaften und mechanischen Beständigkeit in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts als Werkstoff für die ersten Telefone, Bügeleisen, Schalter und Stecker diente. Weitere Duroplaste sind ungesättigte Polyester, vernetzte Polyurethane, Aminoplaste, Phenol- und Epoxidharze. Weniger als die Hälfte der Duroplaste wird zur Erzeugung von Formteilen, wie Gerätegehäuse oder Bootsrümpfe, verwendet. Der große Rest findet Verwendung in Holzwerkstoffen, Lacken, Gießmassen und Klebstoffen.

### Elastomere

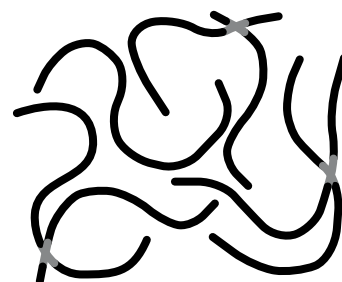
Die dritte Kunststoffgruppe bilden die Elastomere. Sie sind sowohl bei Raumtemperatur als auch nach Erwärmung dauerhaft elastisch. Dies geht auf eine nur locker vernetzte Molekularstruktur zurück. Die Polymermoleküle liegen im Normalzustand verknäult vor und sind nur an wenigen Stellen miteinander verbunden. Bei mechanischer Belastung ziehen sie sich lang auseinander und nach Entlastung wieder zusammen. Sie können daher nicht umgeformt werden, sind unschmelzbar und nicht löslich. Alles was wir umgangssprachlich als Gummi bezeichnen, sind in der Fachsprache Elastomere. Hier werden natürliche Elastomere von synthetischen Kautschuken (z. B. Moosgummi aus Styrol-Butadien-Kautschuk) unterschieden. Typische Elastomere sind Naturkautschuk (NR), Chloropren-Kautschuk (CR), Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR) und Butadien-Kautschuk (BR).



Vernetzung von Thermoplasten



Vernetzung von Duroplasten



Vernetzung von Elastomeren

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbund-  
werkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und  
Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeits-  
schutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinsel

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

# Kunststoffe

- Allgemeines
- Kunststoff Gummi**
- Verbundwerkstoffe
- Holz Kork
- Papier Pappe Karton
- Metall
- Textilien Leder Kunstleder
- Bänder Ketten Schläuche
- Klein- und Formteile
- Zeichnen Grafik Büro
- Werkzeug Arbeitsschutz
- Klebstoff Klebeband
- Formen Abformen Gießen
- Farben Chemie Pinsel
- Basteln Werken Floristik
- Deko Display Event
- Modellbau
- Möbel Licht Systeme
- Behälter Taschen Verpackung
- Bücher Magazine Medien
- Karten Spielzeug Accessoires
- Anhang



*“CLEVER” – Stadtfahrzeug für 2 Personen in Tandem-Sitzanordnung, Aluminium-leichtbaukonstruktion mit GFK-Kunststoffverkleidung, Hersteller: BMW, Design: Peter Naumann*

## Charakteristische Kunststoffeigenschaften

Die große Anzahl unterschiedlicher Kunststoffe, die heute verfügbar sind, macht deutlich, dass sich Polymerwerkstoffe in einem weiten Bereich mit ganz unterschiedlichen Eigenschaften einstellen lassen. Dennoch können einige charakteristische Merkmale beschrieben werden, mit denen sich Polymerwerkstoffe von anderen Werkstoffen unterscheiden. Eine besondere Qualität, die Kunststoff in einem weiten Feld auch für technische Bauteile interessant macht, ist das geringe Gewicht. Die Dichtewerte thermoplastischer Kunststoffe reichen von 0,9 g/cm<sup>3</sup> für Polyethylen bis zu 1,4 g/cm<sup>3</sup> bei Polyvinylchlorid (Hart-PVC). Damit liegen sie weit unter denen der meisten Metalle (Aluminium: 2,7 g/cm<sup>3</sup>, Magnesium: 1,74 g/cm<sup>3</sup>). Nur einige Kunststoffe wie Polytetrafluorethylen (PTFE) sind schwerer (Dichte 2,1-2,3 g/cm<sup>3</sup>). Bei den mechanischen Eigenschaften können sie aber in den meisten Fällen nicht mithalten. Sowohl Festigkeit als auch Steifigkeit fallen im Vergleich zu keramischen oder metallischen Werkstoffen wesentlich geringer aus und sind noch dazu stark temperaturabhängig. In der Konstruktion werden daher meist größere Wandstärken oder Verstärkungen eingeplant. Alternativ können den Kunststoffmassen vor der Verarbeitung auch Faserzusätze beigemischt werden. Typisch sind Glas-, Aramid- oder Kohlenstofffasern (Carbon). So werden beispielsweise die Tragflächen von Flugzeugen oder Karosserieteile von Fahrzeugen mit faserverstärkten Kunststoffen ausgestattet. Ein wesentlicher Vorteil von Kunststoffen, der sie insbesondere für Kinderspielzeug, Schutzhelme oder für das Bauwesen geeignet macht, ist die geringe Neigung zum Bruch bei gleichzeitig guter Zähigkeit. Sie sind wegen ihrer guten Gleit- und geräuscharme Laufeigenschaften außerdem für bewegte Teile in der Fahrzeugindustrie und dem Maschinenbau interessant. Zu diesen zählt zum Beispiel Polyamid, das man unter den Markennamen Nylon und Perlon auch aus der Textilbranche kennt.

Die thermische Beständigkeit vieler Kunststoffe ist eingeschränkt. Insbesondere die gut zu verarbeitenden und weit verbreiteten Thermoplaste schmelzen schon bei niedrigen Temperaturen und sind nur in einem engen Temperaturbereich stabil. Darüber hinaus setzt das unkontrollierte Verbrennen giftige und ätzende Gase frei. Bei tiefen Temperaturen neigen Polymere dazu zu verspröden. Dafür fallen die Isolationseigenschaften gegenüber elektrischen Strömen und Wärme umso besser aus. Hier haben Kunststoffe klare Vorteile gegenüber Metallen. Sie werden zur Ummantelung von Kabeln verwendet und dämmen Gebäude und Kühlschränke vor Wärmeverlust. Offenporige Schaumstoffe können auch als Dämmmaterial vor lauten Geräuschen eingesetzt werden. Wie bei anderen elektrisch nicht leitenden Materialien muss die bei Reibung starke elektrostatische Aufladung beachtet werden. Sie führt zur Anziehung von Staub und kann bei Entladung Brände auslösen.

Die chemischen Eigenschaften, insbesondere die gute Beständigkeit vor Korrosion, machen Kunststoffe für den Schutz von metallischen Oberflächen interessant. Sie werden beispielsweise als Beschichtungsmaterial für Metallwerkstoffe verwendet und wirken positiv gegen Witterungs- und Umwelteinflüsse. Auch die Resistenz vor chemischen Substanzen ist im Vergleich zu vielen Metallen günstiger. Kunststoffe sind meist beständig gegen schwache Säuren oder Laugen und reagieren selten auf den Kontakt mit Wasser, Ölen, Fetten oder Benzin. Eine Vielzahl von Polymeren ist gesundheitlich unbedenklich und für die Verpackung von Lebensmitteln zugelassen (z. B. PET für Kunststoffflaschen). Hier muss speziell auf die Gas- und Wasserdampfdurchlässigkeit geachtet werden, um die Haltbarkeit von Nahrungsmitteln und Getränken zu gewährleisten. Je nach Struktur der makromolekularen Vernetzung reagieren Kunststoffe allerdings empfindlich auf Lösungsmittel.

### Additive

Ein großer Vorteil von Polymeren gegenüber anderen Werkstoffen ist, dass das Eigenschaftsprofil durch Zusatz von Additiven im Herstellungsprofil genau auf die vorliegende Anwendung angepasst werden kann. Die mechanischen, chemischen und elektrischen Eigenschaften werden so optimiert und durch Zugabe von Hilfsstoffen die spätere Verarbeitung erleichtert. Unter Umweltgesichtspunkten sind Additive allerdings problematisch, da sie Schadstoffe enthalten und das Recycling erschweren.

Mit etwa 60% der gesamten Produktion weltweit sind Weichmacher die größte Gruppe unter den Additiven. Sie machen Kunststoffe „geschmeidiger“, verringern sprödes Verhalten und steigern die Schlagzähigkeit. Durch Reduzierung der Härte-

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbund-  
werkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

Metall

Textil  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und  
Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeits-  
schutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinself

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

werte werden die Verarbeitungseigenschaften verbessert. Bei der Herstellung von weichem Polyvinylchlorid (PVC) kommen Weichmacher besonders häufig zum Einsatz. Phthalate sind solche Weichmacher, die nach Ausdünsten zum Teil erhebliche gesundheitsgefährdende Auswirkungen haben können (z. B. Unfruchtbarkeit, Diabetes). Es wird daher empfohlen, auf den Gebrauch von Weich-PVC zu verzichten.

Stabilisatoren erhöhen die Lebensdauer von Kunststoffen und verbessern die thermischen und chemischen Eigenschaften. Zum Schutz vor starker UV-Strahlung und der damit einhergehenden Oberflächenverfärbung, werden Lichtschutzmittel verwendet. Die Alterungsvorgänge werden gestoppt oder verlangsamt. Stabilisatoren, die die Entflamm- und Brennbarkeit herabsetzen, werden Flammschutzmittel genannt.

Farbstoffe werden zum Einfärben eines Polymerwerkstoffs verwendet. Die meisten Kunststoffe sind in reiner Form farblos (z. B. Polycarbonat) bis opak-weiß (z. B. Polyethylen). Ruß sorgt für eine schwarze Färbung. Gleichzeitig reduziert es die elektrostatische Aufladung und erhöht die UV-Stabilität. Es ist darauf zu achten, dass sich unlösliche Farbpigmente im Kunststoff gleichmäßig verteilen. Anhäufungen reduzieren jedoch die Festigkeit. Weitere wichtige Pigmente sind Rutil (weiß), Ultramarinblau oder Chromoxidgrün. Effektpigmente werden für Leuchteigenschaften bei Nacht eingesetzt. Typische Anwendungen sind Taschenlampen, Sicherheitsmarkierungen oder Lichtschalter.

Mit Füllstoffen wie Quarz, Talkum, Graphit, Holzmehl oder Glasfasern versucht man, Kunststoffe zu strecken und die wirtschaftliche Ausbeute zu erhöhen. Gleichzeitig verbessern sich die mechanischen Eigenschaften. Weich-PVC fühlt sich nach Zugabe von Kreide beispielsweise trocken an.

Positiv auf die Verarbeitbarkeit von Thermoplasten und Duroplasten wirken sich Gleitmittel wie Paraffine aus. Treibmittel werden bei der Herstellung von Schaumstoffen verwendet.

## Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen

Granulat aus einem thermoplastischen Kunststoff ist der wichtigste Ausgangsstoff für die Erzeugung von Halbzeugen oder Formteilen. Ihre Herstellung ist die Aufgabe der chemischen Industrie. In Rührkessel- oder Rohrreaktoren werden die flüssigen Monomere zur Reaktion gebracht. Es entstehen die so genannten Formmassen, die zu Granulaten zerkleinert werden.

### Formgebung

Granulate werden von Kunststoffverarbeitern zu Folien, Tafeln, Stäben, Blöcken, Rohren und Profilen überführt. Wichtigstes Gerät dafür ist der Extruder. In ihm wird das Granulat geschmolzen und homogen verteilt. Die Extruderschnecke befördert die erweichte Kunststoffmasse bis ans Ende der Plastifizierstrecke, knetet sie durch und sorgt für einen konstanten Druckaufbau. Dieser ist notwendig, um die zähe Masse durch die Extruderdüse zu pressen. Die gewünschte Form erhält der Kunststoff über die innere Geometrie der Düse. Das Prinzip ist uns beispielsweise auch vom Softeisstand auf dem Jahrmarkt bekannt. Nach dem Austritt des Materialstrangs wird dieser auf das gewünschte Maß abgelängt. Tafeln, Stäbe, Rohre und Profile entstehen auf diese Weise. Folien und Blöcke werden in aller Regel gegossen.

Formteile erhalten ihre Geometrie im Spritzgießverfahren. Hier werden thermoplastische Kunststoffe soweit erhitzt, dass sie zähflüssig vorliegen und in eine Werkzeugform gespritzt werden können. Der Kunststoffspritzguss ist eines der klassischen Verfahren der Massenproduktion. Um Bauteile auch aus zwei unterschiedlichen Materialien in einem Arbeitsschritt herstellen zu können, wurde die Technologie des Zweikomponenten-Spritzgusses entwickelt. Auch das Umspritzen von Bauteilen sowie das Hinterspritzen von Folien (z. B. InMould Decoration) sind mit der Spritzgießtechnik möglich.



Kunststoffgranulat

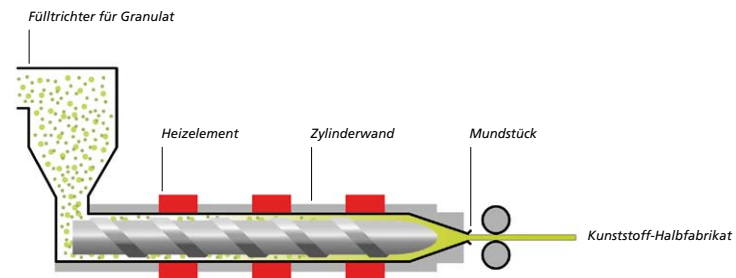


„Hansa Clear“ – transparenter Duschkopf mit sichtbaren Wasserwegen, 2k-Kunststoffspritzguss mit optischen Metallpartikeln, Hersteller: HANSA Metallwerke Deutschland, Design: Noa

# Kunststoffe

- Allgemeines
- Kunststoff Gummi**
- Verbundwerkstoffe
- Holz Kork
- Papier Pappe Karton
- Metall
- Textilien Leder Kunstleder
- Bänder Ketten Schläuche
- Klein- und Formteile
- Zeichnen Grafik Büro
- Werkzeug Arbeitsschutz
- Klebstoff Klebeband
- Formen Abformen Gießen
- Farben Chemie Pinsel
- Basteln Werken Floristik
- Deko Display Event
- Modellbau
- Möbel Licht Systeme
- Behälter Taschen Verpackung
- Bücher Magazine Medien
- Karten Spielzeug Accessoires
- Anhang

Neben dem Spritzgießen und der Extrusion sind das Rotationsgießen und das Blasformen weitere Techniken zur formgebenden Verarbeitung thermoplastischer Kunststoffe. Beim Rotationsgießen entstehen großvolumige Bauteile wie z. B. Tanks. Es erfreut sich bei Designern in den letzten Jahren immer größerer Beliebtheit, da sich Produkte mit großer Wandstärke in einem Arbeitsschritt herstellen lassen. Die PET-Flasche ist wohl das bekannteste Anwendungsbeispiel für das Blasformen. Die Kunststoffmasse wird extrudiert und anschließend in einer Form aufgeblasen. Neben flaschenähnlichen Formgeometrien können selbst großvolumige Spielzeuge und Kinderfahrzeuge mit dem Verfahren hergestellt werden.



## Extruderschnecke

Formmassen für duroplastische und elastomere Kunststoffe sind flüssig oder fest. Sie dürfen vor der Herstellung von Formteilen und Halbzeugen noch nicht zum Polymer vernetzt sein, da dann eine spätere Aufschmelzung bzw. Warmumformung nicht mehr möglich ist. Formteile auf Basis dieser Materialien werden erzeugt, indem man die Grundstoffe in eine Werkzeugform einbringt und gleichzeitig die Vernetzung auslöst. Bekanntes Beispiel für eine solche Reaktion ist das Aushärten eines Zwei-Komponenten-Klebstoffs. Die Komponenten werden vermischt und reagieren zum Duroplast. Für die Formgebung duroplastischer Kunststoffe, die als Festkörper vorliegen, eignet sich die Technik des Pressformens. Das Material wird in eine Form gebracht und unter Wärme gepresst. Dabei vernetzt der Duroplast und härtet aus. Ähnliches ist auch für Elastomere möglich. Da Gummimischungen auch in flüssigem Zustand vorliegen, können sie zu Formteilen spritzgegossen oder zu Schläuchen und zu flexiblen Rohren extrudiert werden.

## Verarbeitung

**Zerspanen:** Beim zerspanenden Bearbeiten durch Sägen, Drehen, Bohren oder Fräsen gibt es meist Probleme mit thermoplastischen Kunststoffen. Wie alle Polymerwerkstoffe sind sie keine guten Wärmeleiter, so dass die am Werkzeug entstehende Wärme nur schlecht abgeführt wird. Es kommt zum Wärmestau, infolgedessen der Werkstoff heiß wird und schmilzt. Das viel zitierte Schmieren ist die Folge. Zudem führen Wärmeunterschiede im Material zu eingefrorenen Spannungen, sodass der Thermoplast empfindlicher auf Witterung und Chemikalien reagiert.

Vor dem Hintergrund dieser Rahmenbedingungen lassen sich für das zerspanende Bearbeiten thermoplastischer Kunststoffe für den Modellbau einige Regeln ableiten:

- Beim Bohren, Fräsen und Sägen sollte eine hohe Schnittgeschwindigkeit gewählt werden.
- Der Vorschub ist so groß einzustellen, dass eine gute Spanabfuhr gewährleistet werden kann (Faustregel: Je weicher der Kunststoff, desto größer der Vorschub).
- Fräser, Bohrer oder Sägeblätter sollten einen kleinen Spanwinkel aufweisen.
- Eine gute Wärmeabfuhr wird durch hohen Spanquerschnitt sichergestellt.

Da Thermoplaste sich in der Wärme stark dehnen und nach der Bearbeitung Schwindung zu erwarten ist, können nicht so enge Toleranzen eingehalten werden wie bei Metallen. Das Zerspanen von Duroplasten ist einfacher, da sie bei Erwärmung nicht erweichen und auch nicht schmelzen. Sie sind allerdings meist spröder als thermoplastische Kunststoffe und stauben erheblich, so dass bei spanender Bearbeitung eine gute Absaugung benötigt wird. Es sollten gehärtete Werkzeugschneiden verwendet werden. Auf Grund der großen Elastizität lassen sich Elastomere nicht zerspanend bearbeiten.

Allgemeines	
Kunststoff	
Gummi	
Verbundwerkstoffe	
Holz	
Kork	
Papier	
Pappe	
Karton	
Metall	
Textilien	
Leder	
Kunstleder	
Bänder	
Ketten	
Schläuche	
Klein- und Formteile	
Zeichnen	
Grafik	
Büro	
Werkzeug	
Arbeitschutz	
Klebstoff	
Klebeband	
Formen	
Abformen	
Gießen	
Farben	
Chemie	
Pinself	
Basteln	
Werken	
Floristik	
Deko	
Display	
Event	
Modellbau	
Möbel	
Licht	
Systeme	
Behälter	
Taschen	
Verpackung	
Bücher	
Magazine	
Medien	
Karten	
Spielzeug	
Accessoires	
Anhang	

**Kleben:** Die meisten Thermoplaste sind in bestimmten Lösungsmitteln löslich. Somit ist es möglich, sie mit Lösungsmittelklebstoffen oder Kleblacken zu verkleben. Die Verbindung zwischen den Klebteilen besteht dann aus dem Kunststoff selbst. Ansonsten können alle Kunststoffe mehr oder weniger gut mit Kontakt-, Haft- oder Reaktionsklebstoffen gefügt werden. Für duroplastische und elastomere Kunststoffe sind chemisch abbindende Zweikomponenten-Kleber auf der Basis von Epoxidharz, Cyanacrylat oder Polyurethan geeignet. Welche Klebstoffe für die einzelnen Kunststoffe am besten sind und weitere Hinweise finden Sie auf den folgenden Seiten sowie im Kapitel Klebstoff.

„Fügen“ ist die in der Fertigungstechnik verwendete Begrifflichkeit für das Verbinden zweier oder mehrerer Bauteilkomponenten. In diesen Kontext fällt auch das Schweißen, eine Technologie, die man vor allem aus der Metallverarbeitung kennt.

**Schweißen:** Wie Metalle können auch thermoplastische Kunststoffe verschweißt werden, da sie bei Erwärmung erweichen. Duroplaste und Elastomere können ausschließlich geklebt werden. Für den Modellbau und zur handwerklichen Verarbeitung sind insbesondere zwei Schweißverfahren für Thermoplaste interessant: das Warmgas- und das Heizelemente-Schweißen. Beim Warmgasschweißen werden die zu fügenden Flächen und der meist in Stabform verwendete Zusatzwerkstoff gleichzeitig mit Warmluft auf Schweißtemperatur erwärmt und unter Druck verschweißt. Das Warmgasschweißen wird für PE, PP, PVC und PMMA verwendet. Zum Verschweißen verschiedener Kunststoffe ist das Verfahren meist nicht geeignet. Beim Heizelemente-Schweißen wird die Wärme durch ein Heizelement auf die Werkstücke übertragen. Als Heizelemente dienen Platten, Keile, Bänder oder Drähte aus Metall, die elektrisch auf die erforderliche Temperatur gebracht werden. Diese liegen meist bei Werten zwischen 200 °C und 400 °C.

Genauere Darstellungen zu den Kunststoffschweißtechniken findet man im „Handbuch für technisches Produktdesign“. Neben Kleb- und Schweißtechniken haben sich insbesondere konstruktive Maßnahmen durchgesetzt, um Kunststoffteile miteinander zu verbinden. An dieser Stelle sei die Schnappverbindung genannt, mit der beispielsweise die meisten Teile zur Innenverkleidung im Auto dauerhaft befestigt werden können.

**Warmumformen:** Die thermischen Eigenschaften der Thermoplaste sind manchmal nützlich und manchmal störend für die Verarbeitung. Flüssige Thermoplaste werden beispielsweise im Spritzguss zu Zahnbürstentielen oder Computergehäusen verarbeitet. Erweichte Platten oder Stäbe können umgeformt werden und behalten nach dem Abkühlen die Form von Yoghurtbechern oder Lampenschirmen. Für die harten Duroplaste und die elastischen Elastomere kommt das Warmumformen nicht in Frage. Wie das Umformen von Thermoplasten funktioniert und handwerklich durchgeführt wird, erklären die folgenden Absätze. Für die Warmumformung werden thermoplastische Kunststoffe wie PS, ABS, PP, PVC, PMMA, PC und PET über ihre Erweichungstemperatur erwärmt. Oberhalb dieser Temperaturen nehmen die Polymermoleküle segmentweise Platzwechsel vor und neigen dazu, sich unter Belastung zu entknäueln. Bei Entlastung sind sie jedoch bestrebt, die ursprüngliche Lage wieder einzunehmen, was dann zur Rückstellung des gesamten Werkstücks führt. Um diesem Rückstellbestreben entgegenzuwirken, muss das Werkstück nach der Umformung im belasteten Zustand bleiben und langsam auskühlen. Im Bereich der Erweichungstemperaturen wird der Kunststoff weich und lederartig. Das Warmumformen ist jedoch keine klebrige und stinkende Angelegenheit. Klebrig wird es nur dann, wenn der Kunststoff zu heiß geworden ist. Das Tragen hitzebeständiger Handschuhe ist für das Warmumformen zu empfehlen.

Einige Kunststoffe sollten vor dem Umformen getrocknet werden, da die im Material gebundene Feuchtigkeit zu Trübungen oder Blasen im umgeformten Bereich führen kann. Sind optisch einwandfreie Kanten erwünscht, sollte der Kunststoff vor dem Umformen poliert werden. Die Prozesse zum Erwärmen thermoplastischer Werkstoffe im industriellen Kontext sind sehr ausgefeilt. Für die handwerkliche Warmumformung können aber auch einfache Mittel Verwendung finden. Kleinere Umformungen zum Biegen eines Rohres oder Abkanten eines Plattenabschnitts werden mit weich eingestellter Propangasflamme realisiert. Zum lokalen Erwärmen stehen außerdem verschiedene Hilfsmittel wie Infrarotlampen, Heizstrahler, Heißluftföhne

Dr. Sascha Peters hat die Rubrik „Wissenswertes“ für die Kapitel Kunststoffe, Metalle, Papier, Holz, Textilien und Verbundwerkstoffe verfasst. Er ist Autor und Mitherausgeber unserer Empfehlung für weitergehende Materialinformationen:



Handbuch für Technisches Produktdesign, Autor (Text) und inhaltliche Gliederung: Dr. Sascha Peters, Springer-Verlag Berlin/Heidelberg

**Umformtemperaturen einiger Kunststoffe**

Kunststoff	Temperatur
PS	130 bis 200 °C
PE	140 bis 160 °C
PP	155 bis 200 °C
PET	95 bis 120 °C
PC	180 bis 220 °C
PMMA	130 bis 170 °C
PVC-hart	110 bis 140 °C
CAB	180 bis 200 °C

# Kunststoffe



Warmverformtes Plexiglas

oder mit Aluplatten abgedeckte Herdplatten zur Verfügung. Wird ein nicht teflonbeschichtetes Bügeleisen benutzt, sollte man Trennpapier (z. B. Backpapier) auflegen, um die Oberfläche des Werkstücks nicht zu verkratzen. Ganze Werkstücke können leicht im Backofen erwärmt werden.

Egal welches Hilfsmittel genutzt wird, es gelten folgende Grundregeln:

- Wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit thermoplastischer Kunststoffe sollten die Werkstoffe langsam und gleichmäßig erwärmt werden.
- Beim Biegen und Abkanten sollte die erwärmte Zone mindestens sechs Mal so breit sein, wie die Platte dick ist; der minimale Biegeradius ist zwei bis drei Mal so groß zu wählen wie die Plattendicke.
- Um örtliche Abkühlspannungen zu vermeiden, darf die Abkühlung unter Formzwang nicht zu schnell erfolgen und sollte möglichst gleichmäßig vonstatten gehen.

**Umformwerkzeuge:** Um bei der Warmumformung präzise und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen, werden Formen verwendet. So kommt bei der Überführung einer Stabgeometrie in eine gewinkelte Form eine einfache Holzkonstruktion („Biegeschablone“) zum Einsatz, in der das Werkstück auch auskühlt. Damit Röhre nicht abknicken, sollten sie vor dem Biegen stramm mit Sand gefüllt und mit Pfropfen an den Enden verschlossen werden, so dass der Sand nicht verdrängt werden kann. Ein Zylinder entsteht, wenn eine im Ofen erwärmte Platte um eine vorgewärmte Flasche, ein Papprohr oder ein filzummanteltes Metallrohr gewickelt wird. Dabei sollte zügig gearbeitet werden, denn das Material kühlt schnell aus.

Schwieriger ist das so genannte Streckformen von Platten oder Folien, eine einfache Variante des Tiefziehens. Hier werden ein Ziehstempel, der die Form für das Werkstück bildet, und ein Holzrahmen verwendet. Das Material wird auf den Holzrahmen gespannt, dessen innerer Ausschnitt dem Umriss des Ziehstempels entspricht. Nach dem Erwärmen des Kunststoffs auf Umformtemperatur wird der Rahmen gleichmäßig über den Stempel gezogen.

**Dehnungsverhalten:** Kunststoffe dehnen sich bei Erwärmung wesentlich stärker aus als andere Werkstoffe. Daher sollte bei einer Kunststoff-Konstruktion für den Außeneinsatz immer ausreichend Dehnungsspielraum eingeplant werden. Nur so lässt sich verhindern, dass der Kunststoff reißt, witterungsempfindlich wird und im schlimmsten Fall sogar bricht. Die nebenstehende, grob berechnete Tabelle gibt eine ungefähre Vorstellung, wie stark sich ein Kunststoff bei Temperaturerhöhung dehnt. Die Werte beziehen sich auf eine maximale Temperaturdifferenz zwischen  $-20\text{ °C}$  und  $+40\text{ °C}$ . Beispielsweise ist bei einer Acrylglas-Platte (PMMA) mit einer Länge von einem Meter eine maximale Längendifferenz zwischen Winter und Sommer von 5 mm zu rechnen. Bei direkter Sonneneinstrahlung fällt der Wert sogar noch deutlich höher aus.

**Veredelung:** Zum Ende der Bearbeitung können Kunststoffe meist leicht im Sieb- und Tampondruck bedruckt, lackiert oder heiß geprägt werden. Das galvanische Metallisieren im Vakuum ist Standard in der Massenproduktion. Beispielanwendungen sind Spiegelflächen oder Reflektoren im Fahrzeugbau. Außerdem wurde in den letzten Jahren die Lasertechnologie zur Aufbringung von Dekoren qualifiziert.

## Dehnungsverhalten verschiedener Kunststoffe von $-20\text{ °C}$ bis $+40\text{ °C}$

Kunststoff	Dehnung
<b>PC</b> (Polycarbonat, „Makrolon“)	0,4 %
<b>PMMA</b> (Polymethylmethacrylat, „Plexiglas“)	0,5 %
<b>PP</b> (Polypropylen)	0,7 bis 1,0 %
<b>PS</b> (Polystyrol)	0,4 bis 0,5 %
<b>PVC</b> (Polyvinylchlorid)	0,4 bis 0,5 %
<b>PET</b> (Polyester)	0,5 %

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselfBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

# Polystyrol (PS)

Man kennt die kleinen bunten Bausteine aus jedem Kinderzimmer. Sie lassen sich in beliebiger Form zusammensetzen, aktivieren unsere Kreativität und sind fast „unkaputtbar“: Legosteine. Seit 1963 werden sie aus der Polystyrolsorte ABS hergestellt. Neben den Polyolefinen und Polyvinylchlorid (PVC) zählen Polystyrole auf Grund ihrer einfachen Verarbeitung bei geringem Kostenaufwand zu den bedeutendsten Massenkunststoffen. Man kennt sie in Form von Joghurtbechern, Wegwerfbestecken oder CD-Verpackungen. Polystyrolschaumstoffe wie Styropor oder Styrofoam sind wichtige Verpackungs- und Dämmmaterialien. Auf Grund der leichten Verarbeitungsmöglichkeiten und des geringen Preises sind sie als Modellbauwerkstoffe bei Architekten und Designern beliebt.

**Eigenschaften:** Polystyrole werden überwiegend als amorphe Thermoplaste polymerisiert. Sie sind glasklar, weisen einen hohen Oberflächenglanz auf und lassen sich transparent sowie deckend einfärben. Die Dichte liegt bei ungefähr 1,05 g/cm<sup>3</sup>. Wasseraufnahme und Gasdurchlässigkeit sind sehr gering, was Polystyrol als Verpackungsmaterial für die Lebensmittelindustrie qualifiziert. Außerdem ist PS chemisch beständig gegen wasserbasierte Flüssigkeiten und Lösungsmittel. Die Wärmebeständigkeit des sehr steifen und harten Kunststoffs reicht aber nur bis etwa 70 °C. Im Außenbereich muss mit einer Verminderung der Glanzeigenschaften und Vergilben gerechnet werden.

Zur Verbesserung der Eigenschaften und Erweiterung des Verwendungsbereichs wurde eine ganze Reihe von Polystyrol-Varianten entwickelt, die eine geringere Sprödigkeit, bessere mechanische Eigenschaften und höhere Wärmeformbeständigkeit aufweisen. Schlagfestes Polystyrol (SB), Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymere (ABS), Styrol-Acrylnitril-Polymere (SAN) und Acrylnitril-Styrol-Acrylester-Polymere (ASA) entstehen durch Modifizierung mit Acrylnitril und/oder der Kautschukkomponente Butadien.

Schlagfestes Polystyrol (SB) ist wesentlich schlagzäher und stoßfester als das Standard-Polystyrol. Dafür fallen Steifigkeit, Transparenz und Oberflächenglanz geringer aus. Es ist als Alternative zu PVC als glasklares Verpackungsmaterial und für technische Formteile entwickelt worden. Die Kautschukkomponente macht es auch für Anwendungen bei tiefen Temperaturen bis -40 °C geeignet.

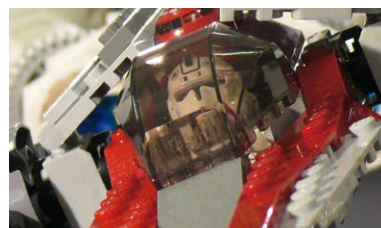
Das besonders vielseitige ABS hat eine hohe Wärmebeständigkeit (95-110 °C), hohe Zähigkeit und sehr gute Kratzfestigkeit. Auf Grund des günstigen Preises hat es sich in vielen Anwendungen als technischer Werkstoff behauptet. ABS ist in ungefärbtem Zustand weiß-opak.

Im Vergleich zu normalem Polystyrol hat SAN eine bessere Chemikalienresistenz, höhere Festigkeitswerte, eine erhöhte Schlagzähigkeit, bessere Oberflächenhärte und ist wärmebeständiger. Auffällig ist auch die gute Temperaturwechselbeständigkeit.

Die mechanischen Eigenschaften von ASA sind vergleichbar mit denen von ABS. Für Außenanwendungen weist es eine deutlich höhere Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse und UV-Strahlung auf. Wegen der eingebetteten elastomeren Bestandteile ist es undurchsichtig.

PS-S ist ein relativ neues Styrolpolymer mit einem teilkristallinen Anteil, einer sehr hohen Wärmeformbeständigkeit und für die Elektroindustrie geeignetem Eigenschaftsprofil. Mit diesen besonderen Qualitäten tritt es in Konkurrenz mit anderen technischen Kunststoffen wie PBT oder PA.

Durch erste Anwendungen des weißen Schaumstoffs Styropor ist Polystyrol Anfang der 60er Jahre bekannt geworden. Die geringe Dichte bei gleichzeitig guten Wärmedämmeigenschaften ist bemerkenswert. Dafür fallen die mechanischen Festigkeitswerte umso schlechter aus. Polystyrolschaumstoffe sind sehr anfällig gegen äußere Belastungen.



Legosteine aus ABS



Rondini (Vorschulmalkasten), Farbschälchen aus Polystyrol SB (mit Zumischung von Glimmer), Deckel aus Polystyrol SAN, Bodenteil aus Polystyrol SB, Hersteller: Pelikan, Design: Yellow Design | Yellow Circle

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbund-  
werkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und  
Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeits-  
schutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinsel

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

# Polystyrol (PS)

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang



„Hirschkopf, Krücklein“ – Souvenirs der Marke „ebos“ aus dem Allgäu, schlagfeste Polystyrol (PS), Spritzguss beflockt, Design: Sybs Bauer

**Anwendung:** Die Anwendungsbereiche von Polystyrol-Werkstoffen sind vielfältig. Es ist uns als Packmittel und Folienmaterial bekannt. Der hohe Oberflächenglanz bei gleichzeitiger Durchsichtigkeit wird für Kosmetika, Kassettenhüllen, Ordnungskästen in Werkstatt und Küche, Leuchtenabdeckungen, Isolierfolien, Zahnbürsten, Modeschmuck und Tortenhauben geschätzt. Die schlagfesteren modifizierten Varianten finden vor allem in technischen Bereichen Anwendung. Beispiele sind Videokassetten, Kameras, Rundfunkgeräte, Fernsehrückwände, Kühlschrankverkleidungen, Diarahmen, Kleiderbügel oder Schuhleisten. ABS findet mit der Möglichkeit zur elektrostatischen Ausrüstung insbesondere in der Elektroindustrie Anwendung. Hier wird der Werkstoff bei der Gehäuseherstellung von Telefonen, Staubsaugern, Plattenspielern, Büromaschinen, Leuchten und Chipkarten verwendet. In der Möbeldustrie gibt es Sitzschalen, Hocker, Kindersitze und Beschläge aus ABS. Weitere typische Anwendungen sind Kugelschreiber, Surfbretter, Autobatteriekästen, Zierleisten oder WC-Spülkästen. SAN wird besonders dann für technische Bauteile interessant, wenn neben guten mechanischen Eigenschaften auch eine klare Transparenz gefordert wird. Somit ist es für Phonoabdeckhauben oder Leuchtenabdeckungen gut geeignet. ASA kann seine charakteristischen Eigenschaften vor allem für Außenanwendungen mit hellen Einfärbungen voll entfalten. Es ist beständig gegen Witterungseinflüsse und vergilbt nicht. Typische ASA-Bauteile sind Wohnwagenverkleidungen, Außenspiegel, Gartenleuchten, Verkehrsschilder, Rasenmähergehäuse, Gartenmöbel und Pflanzschalen.

**Verarbeitung:** Das Spritzgießen von Polystyrol und der modifizierten Varianten ist bei Massentemperaturen von 200-250 °C sehr gut möglich. Zur Erzielung eines guten Oberflächenglanzes sollte das Werkzeug auf eine Temperatur von 80 °C erwärmt werden. Halbzeuge wie Platten, Folien, Tafeln oder Rohre werden extrudiert. Hohlkörper aus PS-SB, ABS, SAN und ASA entstehen im Extrusionsblasverfahren. Die zerspanende Bearbeitung der Polystyrole ist mit den üblichen Werkzeugen möglich. Für Zuschnitte von Schaumstoffplatten stehen Thermosägen zur Verfügung. Warmumformungen werden in der Regel im Vakuum bei Temperaturen zwischen 130 °C und 200 °C durchgeführt. Typische Geometrien sind Becher- und Tellerformate. Einfaches Biegen ist auch bei etwas geringeren Temperaturen möglich. Für das Kleben der Standard-Polystyrole eignen sich Lösungsmittelklebstoffe wie Dichlormethan oder Toluol. ABS und ASA kleben am besten mit Methylethylketon oder Dichlorethylen. Höhere Festigkeit erreicht man mit Zweikomponenten-Systemen. Für Styroporerteile sind Lösungsmittelklebstoffe nicht geeignet. Hier bieten sich Dispersions-, Cyanacrylat- oder Kontaktkleber auf Kautschukbasis an. Schweißen ist möglich, wird aber auf Grund der guten Klebbarkeit der Polystyrole nur selten durchgeführt. PS-Oberflächen können im Sieb- und Tampondruckverfahren bedruckt und im Vakuum galvanisch metallisiert werden. Auch das Heißprägen und die Lasertechnologie sind zur Aufbringung von Dekoren geeignet. Polystyrole lassen sich sehr gut schleifen und polieren.

**Lieferformen:** Polystyrole sind als Folien, Platten, Blöcke, Stäbe, Rohre, Profile und Spritzgusshalbzeuge erhältlich. Styropor-Schaumplatten werden mit Dichten zwischen 20-200 kg/m<sup>3</sup>, hellblaues Styrofoam in Dichten von 35 kg/m<sup>3</sup> und 45 kg/m<sup>3</sup>, weißer Hartschaum mit einer Dichte von 52 kg/m<sup>3</sup> angeboten.

## Handelsnamen:

- PS: „Edistir“ – Enichem, „Empera“ – BP-Amoco, „Koplen“ – Kaucuk, „Neopor“, „Styrodur“, „Styropor“, „Peripor“ – BASF, „Novacor“ – Nova Chemicals, „Polydux“ – Aiscondel, „Valtra“ – Ausimont, „Velkor“ – Alkor, „Lacqrene“ – Atofina
- PS-SB: „Styronal“ – BASF, „Buna“ – Bayer MaterialScience, „Clearen“ – Denki Kagaku Kogyo, „Paraloid“ – Rohm & Haas, „Polyflam“ – Schulman
- ABS: „Satran“ – MRC Polymers, „Tarodur“ – Taro Plast, „Tecaron“ – Ensinger, „Terlux“, „Terluran“ – BASF, „Lustran ABS“ – Bayer MaterialScience, „Blendex“ – GE Specialty Chemicals, „Lupos“, „Lucky“ – LG Chemical, „Parisab“ – Tecnopolimers
- ASA: „Luran S“ – BASF, „Centrex“ – Bayer MaterialScience, „Geloy“ – GE Plastics
- SAN: „Tyril“ – Dow Chemicals, „Bapolan“ – Bamberger Polymers, „Luran“ – BASF, „Lustran SAN“ – Bayer MaterialScience, „Lupan“ – LG Chemical, „Cevian“, „Cebian“ – Daicel Chemical

**Alternativen:** PP, PE, PA, PBT, PVC, Papierschaum

# Polyethylen (PE)

Tupperware gilt als eine der großen Errungenschaft der Nachkriegszeit: Die bunten Behältnisse aus dem Kunststoff Polyethylen revolutionierten die Aufbewahrung und das Frischhalten von leicht verderblichen Lebensmitteln. Der 1949 patentierte Verschluss macht luftdichtes Abdichten möglich. Earl Silas Tupper hatte damit die Vorteile von PE gegenüber Behältnissen aus Glas oder Keramik früh erkannt. Polyethylen ist leicht, unzerbrechlich und geruchs- sowie geschmacksneutral. Neben Polypropylen (PP) gehört PE zur Gruppe der Polyolefine. Diese stellen die mengenmäßig bedeutendste Kunststoffgruppe dar. Auf Grund der niedrigen Produktionskosten, der leichten Zugänglichkeit der Rohstoffe und der guten Ökobilanz macht Polyethylen heute etwa ein Viertel der gesamten Kunststoffproduktion weltweit aus.

**Eigenschaften:** Polyolefine sind teilkristalline Thermoplaste. Bei dieser Form der Struktur liegt ein großer Anteil der Fadenmoleküle in regelmäßiger Anordnung vor. Im Vergleich zu amorphen Polymeren bewirken kristalline Strukturen einen stabileren Zusammenhalt mit erhöhter Dichte, Form- und Temperaturbeständigkeit. Entsprechend des Kristallisationsgrades unterscheidet man Polyethylen geringer (PE-LD, „low density“), mittlerer (PE-MD, „medium density“) und hoher Dichte (PE-HD, „high density“). Die mechanischen und chemischen Eigenschaften können je nach Anwendungsfall eingestellt werden. Darüber hinaus ist durch räumliche Vernetzung während der Verarbeitung auch eine Steigerung von Temperaturbeständigkeit und Schlagzähigkeit möglich. Vernetzte PE-Varianten tragen die Bezeichnung PE-X.

Polyethylene sind in ungefärbten Zustand milchig weiß. Sie haben eine wachsartige Oberflächenstruktur. Die maximalen Verwendungstemperaturen liegen zwischen 75 °C (PE-LD) und 95 °C (PE-HD). Bei Kälte oder UV-Einstrahlung ist mit Versprödung zu rechnen. Für die Verwendung im Außenbereich muss PE daher ein Russpartikelanteil von etwa 2 % beigemischt werden. Die elektrischen Isolationseigenschaften sind hervorragend. Polyethylene sind beständig gegen verdünnte Säuren, Laugen, Alkohol und Öl. Die Durchlässigkeit für Gase und Aromastoffe fällt im Vergleich zu anderen Kunststoffen größer aus.

**Anwendung:** PE-LD wird hauptsächlich für die Fertigung von Folien aller Art, Verpackungsmaterialien, Abdeckplanen und Tragetaschen verwendet. Auch ist es für Kabelummantelungen und als Beschichtungswerkstoff für Metallbauteile gut geeignet. Bei der Herstellung von Behältnissen, Rohren und Spritzgussartikeln greift man auf Polyethylen hoher Dichte zurück. Außerdem kommt PE-HD bei Geotextilien für den Deponie- und Böschungsbau zur Anwendung. Die vernetzte Variante PE-X wird vor allem für Warmwasserleitungen oder Rohrsysteme von Fußbodenheizungen verwendet. Außerdem eignet sich diese zur Isolierung von Hochspannungskabeln und für die Gasversorgung.

**Verarbeitung:** Polyethylen lässt sich einfach verarbeiten. Häufig angewendete Verarbeitungstechniken sind das Spritzgießen, Extrudieren und Extrusionsblasformen. Beim Spritzgießen muss eine Schwindung von 1,5 % (PE-LD) bis 5 % (PE-HD) berücksichtigt werden. Großbehälter und Fässer werden auch durch das Rotationsgießen erzeugt. Die zerspanende Bearbeitung ist eher unüblich. Umformungen werden unter Wärmezufuhr bei Temperaturen von 140 °C (PE-LD) und 160 °C (PE-HD) durchgeführt. Polyethylene haben keine guten Klebeigenschaften. Geschweißt werden können die PE-Sorten durch Warmgas-, Reibungs- und Heizelementeschweißen. Zum Bedrucken eignet sich das Siebdruckverfahren. PE muss hier aber durch Sandstrahlen oder Beflammen vorbehandelt werden. PE-LD eignet sich als Beschichtungsmaterial für Rohre, Kühlschrankschalen und Spülmaschinenteile. Aufgebracht wird das Material durch Wirbelsintern bei etwa 220 °C.

**Lieferformen:** Polyethylene sind in Form von Granulat, Pulver, Blöcken, Platten, Stäben, Rohren und als Folienmaterial erhältlich.

**Handelsnamen:** „Dowlex“, „Elite“ – Dow Chemical, „Sclair“ – Nova, „Scorene“ – Exxon Mobil Chemical, „Hostalen“ – Elenac, „Vestolen A – DSM Engineering Plastics, „Novex“, „Rigidex“ – BP-Amoco, „Marlex“ – Phillips, „Fortiflex“ – Solvay, „Vestowax“ – Hüls AG, „Lupolen“ – Basell

**Alternativen:** PP, PVC, EVOH, PS, ABS, SAN



Taschen aus Tüten; Plastiktüten bestehen in der Regel aus Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE)

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbund-  
werkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und  
Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeits-  
schutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinsel

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

# Polypropylen (PP)

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang



„Lucy“ – Bürolocher, Polypropylen,  
Hersteller: Koziol, Design: Peter  
Naumann



NUK Oral Care Beißringe aus PP, Oral  
Care Kühlring (blau) aus Silikon,  
Hersteller: Mapa GmbH, Design: Yellow  
Design | Yellow Circle

Polypropylen ist eines der beliebtesten Materialien für Produkte des täglichen Gebrauchs. Die Firma Authentics hat es mit namhaften Designern Anfang der 1990er Jahre geschafft, den Werkstoff vom schlechten Image eines Kunststoffes zu befreien und ihn zurück in unsere Alltagskultur zu bringen. Durch die transluzent edle Anmutung wurden selbst die einfachsten Gegenstände wie Müllereimer, Hocker und Zahnputzbecher Teil unseres Wohnraums.

**Eigenschaften:** Die charakteristischen Merkmale der beiden bedeutenden Polyolefine Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) ähneln sich. Bei PP liegen etwa 60 % bis 70 % der Fadenmoleküle in kristalliner Form vor. Es weist daher höhere Härte, größere Steifigkeit und bessere Festigkeitswerte auf als PE. Polypropylen ist sehr zäh und formbeständig bis zu einer Temperatur von 110 °C (kurzfristig: 140 °C). Für hohe Beanspruchung wird es mit Glasfasern oder mineralischen Füllstoffen verstärkt. Mit einer Dichte von 0,895 g/cm<sup>3</sup> bis 0,92 g/cm<sup>3</sup> ist PP noch ein wenig leichter als Polyethylen. Ungefärbt hat es eine schwache Transparenz bei hohem Oberflächenglanz. Polypropylen nimmt kein Wasser auf. Es wird spröde bei Temperaturen unter 0 °C. Die Isolationseigenschaften vor elektrischen Strömen ähneln dem der Polyethylene. PP-Oberflächen ziehen gerne Staub an. Polypropylen ist physiologisch unbedenklich und wird daher im Lebensmittel- und Pharmaziebereich eingesetzt. Es ist beständig gegen schwache Säuren und Laugen. Vorsicht ist geboten beim Kontakt mit Kupferlegierungen.

**Anwendung:** Da sich die Materialcharakteristika von Polypropylen sehr gut einstellen und durch Faserzusätze verstärken lassen, reichen die Verwendungsbereiche von einfachen Verpackungsfolien über Schaumstoffe und Geotextilien bis hin zu technischen Bauteilen für den Maschinenbau und die Fahrzeugindustrie. Typische PP-Bauteile sind Lebensmittelverpackungen, Flaschenverschlüsse, Kofferschalen, Infusionsbehälter, Campingmöbel, Surfbretter, Nähmaschinegehäuse, PKW-Innenverkleidungen, Autobatteriegehäuse, Stoßfänger, Lüfterteile, Wäschetrockner, Kotflügel, Scheinwerfergehäuse, Einweggeschirr, Kaffeefilter und durchsichtige Verpackungen. Im Baugewerbe wird Polypropylen für Rohrleitungen, Regale oder Tischplatten eingesetzt. Die elektrischen Isolationseigenschaften machen es wie Polyethylen für Kabelummantelungen geeignet.

**Verarbeitung:** Auf Grund der größeren Härte im Vergleich zu PE kommen zerspannende Techniken durchaus zur Anwendung. Die formgebende Bearbeitung durch Biegen, Vakuumformen oder Tiefziehen ist bei Temperaturen zwischen 155 °C und 200 °C möglich. Beim Warmumformen bewirken gekühlte Werkzeuge eine höhere Transparenz des späteren Bauteils. Beim Spritzgießen wird Polypropylen bei knapp unter 300 °C verarbeitet. Je höher die PP-Masse erwärmt wird, desto besser ist die Oberfläche des Bauteils nach dem Erstarren. Mit einer Schwindung von 1 % bis 2,5 % muss gerechnet werden. Weitere typische spanlose Formgebungsverfahren für PP-Massen sind Extrudieren, Stranggießen oder Blasformen. Die Verarbeitbarkeit von PP-Formmassen kann durch Zumischung von Elastomeren (EPM-Kautschuk) verbessert werden. Man spricht dann von PP-Elastomer-Blends, die eine erhöhte Schlagzähigkeit und Witterungsbeständigkeit aufweisen. Für Gartenmöbel wird das Ausgangsmaterial zum Beispiel mit Talkum verstärkt. Polypropylen lässt sich mit den gleichen Schweißverfahren fügen wie Polyethylen. Die Schwierigkeiten beim Kleben und Bedrucken sind identisch. Kleine Schriften können auch ohne Vorbehandlung der Oberfläche durch Heißprägen aufgebracht werden. Polypropylen lässt sich darüber hinaus sehr gut polieren. Die Werkstoffoberflächen können auch metallisiert werden.

**Lieferformen:** Wie bei den Polyethylenen wird Polypropylen in Form von Granulat, Pulver, Blöcken, Platten, Stäben, Rohren und Folien gehandelt.

**Handelsnamen:** „Inspire“ – Dow Chemical, „Nepol“, „Xmod“ – Borealis, „Bicor“, „Hicor“ – Exxon Mobil Chemical, „Vestolen P – DSM Engineering Plastics, „Polyfill“ – Polykemi, „Topilene“ – Tong Yang, „Eltex“, „Sequel“, „Ontex“ – Solvay, „Tatren“ – Slovnaft, „Novolen“, „Profax“ – Basell

**Alternativen:** PE-LD, PE-HD, PVC, PS, ABS, SAN

# Ethylvinylacetat (EVA)

Wir kennen das Material aus unserer Küche. Folien und Beutel, die sich zum Verpacken von frischem Gemüse oder Fleisch und die Lagerung im Gefrierschrank eignen, werden in der Regel aus Ethylvinylacetat hergestellt. Den Einsatz verdankt der Werkstoff seiner Eigenschaft selbst bei niedrigen Temperaturen besonders stark zu schrumpfen, eine Qualität, die für das luftdichte Aufbewahren von Lebensmitteln von Interesse ist.

**Eigenschaften:** Der Begriff Ethylvinylacetat (EVA) bezeichnet eine Gruppe von Copolymeren, die durch Polymerisation von Ethylen und Vinylacetat entstehen. Daher sind auch noch ältere Schreibweisen wie Ethylen/Vinylacetat, E/VA und Ethylvinylacetat im Umlauf. Obwohl die Kettenmoleküle starke Verzweigungen aufweisen, ist die Struktur nur an wenigen Stellen kristallin. Daher sind Ethylvinylacetate thermoplastisch und lichtdurchlässig. Dichte und Eigenschaften richten sich in besonderem Maße nach dem Vinylacetatgehalt (VAC). Bei geringem Anteil VAC ist EVA im Vergleich zu PE-LD lichtdurchlässiger, zäher, flexibler und formstabiler unter Wärme. Ein größerer Vinylacetatgehalt reduziert Festigkeit, Steifigkeit und Chemikalienbeständigkeit. Der Werkstoff weist eine fast kautschukähnliche Flexibilität auf und ähnelt im Eigenschaftsprofil weichem Polyvinylchlorid (PVC-P). Gleichzeitig steigen Reiß- und Stoßfestigkeit sowie Lichtdurchlässigkeit und Glanz. Das Adhäsionsvermögen nimmt zu, so dass sich EVA mit hohem Vinylacetatgehalt für Beschichtungen und als Klebstoff eignet. Die Einsatztemperaturen des thermoplastischen Werkstoffs liegen zwischen -50 °C und +60 °C. Bei höheren Temperaturen schmilzt er. Auffallend ist das gute Aufnahmevermögen für anorganische Füllstoffe wie Ruß, Kreide oder Glimmer. EVA ist für den Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen.

**Anwendung:** EVA findet vor allem als Verpackungsmaterial in Haushalt und Garten Verwendung. Es ist der klassische Packwerkstoff für Tiefkühlkost und Eiswürfel. Die kautschukähnliche Flexibilität macht EVA für Schuhsohlen und für falt- und formbare Spielzeuge geeignet. In der Elektroindustrie wird das Material für Kabelummantelungen und -beschichtungen verwendet. Weitere Anwendungsbeispiele sind Verschlüsse, Dichtungen, Landwirtschaftsfolien, flexible Rohre oder Zwischenschichten in Sicherheitsgläsern. EVA mit einem Vinylacetatgehalt von 70-95 % eignet sich als Klebstoff und ist Bestandteil in Pulverbeschichtungen, Emulsionsfarben und Poliermitteln.

**Verarbeitung:** Die Be- und Verarbeitungsmöglichkeiten sind mit denen von PE-LD vergleichbar. EVA wird im Spritzgussverfahren bei Temperaturen zwischen 175 °C und 220 °C und durch Extrusion bei 140-180 °C verarbeitet. Auch Blasformen ist durchaus üblich. EVA-Folien können leicht bedruckt, gut heiß gesiegelt und geklebt werden. Warmgas-, Reibungs- und Heizelementeschweißen sind möglich.

**Lieferformen:** EVA ist als Granulat, Dispersion, Folienmaterial oder Halbzeug (z. B. Schläuche, flexible Rohre) erhältlich.

**Handelsnamen:** „Greenflex“ – Polimeri Europa, „Denka ER“ – Denki Kagaku Kogyo, „Escorene MV“ – Exxon Mobil Chemical, „Levapren“ – Bayer MaterialScience, „Platabond“ – Atofina, „Ultrathene“ – Equistar Chemicals, „Vamac“ – DuPont

**Alternativen:** PVC-P, PE-LD



EVA Gittermatte, transparent

Allgemeines	
Kunststoff	
Gummi	
Verbundwerkstoffe	
Holz	
Kork	
Papier	
Pappe	
Karton	
Metall	
Textilien	
Leder	
Kunstleder	
Bänder	
Ketten	
Schläuche	
Klein- und Formteile	
Zeichnen	
Grafik	
Büro	
Werkzeug	
Arbeitschutz	
Klebstoff	
Klebeband	
Formen	
Abformen	
Gießen	
Farben	
Chemie	
Pinself	
Basteln	
Werken	
Floristik	
Deko	
Display	
Event	
Modellbau	
Möbel	
Licht	
Systeme	
Behälter	
Taschen	
Verpackung	
Bücher	
Magazine	
Medien	
Karten	
Spielzeug	
Accessoires	
Anhang	

# Polyester

Kamen früher Getränke ausschließlich in klaren Glasflaschen ins Haus, so hat sich das in den letzten Jahren grundlegend geändert. Die Kunststoffflasche ist leichter, günstiger herzustellen, einfacher zu recyceln und bruchfester. Ihre Ökobilanz über die gesamte Lebensdauer fällt im Vergleich zur Glasflasche günstiger aus. Auf Grund seiner geringen CO<sub>2</sub>-Durchlässigkeit und seiner klaren Transparenz wird in den meisten Fällen der Polyester Polyethylenterephthalat (PET) verwendet. Im Jahr 2000 fiel ein Viertel der weltweiten PET-Produktion auf die Herstellung von Kunststoffflaschen.

# Polyester

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselfBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

A\_14

en. Weitere interessante Verwendungsgebiete sind Schmuckverpackungen für Parfums oder Umverpackungen von wertvollen Lebensmitteln wie Pralines.

**Eigenschaften:** PET ist einer der technisch wichtigsten Vertreter unter den Polyester-Kunststoffen. Den Namen verdanken diese der so genannten Ester-Gruppe, einer Molekülstruktur die im Polymeraufbau zu finden ist. Das erste Mal gelang Wallace Hume Carothers 1930 die Herstellung eines Polyesters als Ersatzmaterial für Naturfasern als Destillationsprodukt aus einer Schmelze. Heute existieren neben den gesättigten, linearen Polyestern wie PET mit thermoplastischen Eigenschaften auch ungesättigte Polyester, die zu duroplastischen Polymeren vernetzt werden können. Der ungesättigte Zustand geht auf eine C=C Doppelbindung zurück. Während des Vernetzungsvorgangs reagiert diese mit polymerisierbaren Lösungsmitteln wie Styrol unter Einfluss von Katalysatoren und Beschleunigern zu einem sehr stabilen und warmformbeständigen Duroplasten. Diese sind glasklar und haben eine gelbliche Farbe. Verstärkt mit Fasermaterialien können vernetzte Polyesterharze Festigkeiten in der Größenordnung von unlegiertem Stahl aufweisen. UP-Harze haben gute elektrische Isolationseigenschaften und können auch bei niedrigen Temperaturen ohne Versprödung Verwendung finden. Dauerhaft einsetzbar sind sie bis zu einer Temperatur von 140 °C. Polyesterharze sind ebenfalls für Lebensmittelverpackungen zugelassen.

Bei den thermoplastischen Polyestern ist für die technischen Anwendungen neben PET auch noch Polybutylenterephthalat (PBT) bedeutend. Je nach Kristallisationsgeschwindigkeit nimmt PET entweder eine amorph-transparente oder teilkristalline Struktur mit weiß opaker Farbigkeit ein. PBT ist in aller Regel teilkristallin. Polyester nehmen sehr wenig Feuchtigkeit auf. Allerdings ist der Außeneinsatz von PET auf Grund der Neigung zur Vergilbung nur bedingt zu empfehlen. Durch die hohe Festigkeit, Schlagzähigkeit, Steifigkeit und Wärmeformbeständigkeit sind teilkristalline Polyester als Konstruktionswerkstoffe geeignet. Auch nach x-maligem Knicken brechen sie nicht. Der sehr geringe Abrieb bei günstigen Gleit- und Isolationseigenschaften machen sie für Präzisionsbauteile interessant. Dauerhaft einsetzbar ist teilkristallines PET von -30 °C bis +110 °C. PBT ist sogar noch ein wenig wärmebeständiger und bleibt stabil bei Temperaturen zwischen -50 °C und +120 °C. Polyester brennen mit stark rußender Flamme und reagieren empfindlich auf kurze Temperaturspitzen durch heiße Dämpfe. Sie sind beständig gegen Öle, verdünnte Säuren, Fette, Treibstoffe und die meisten Lösungsmittel.

**Anwendung:** Die Hauptverwendungsgebiete von PET sind Fasern, Folien, Filme und Kunststoffflaschen bzw. Lebensmittelverpackungen. PBT hat auf Grund der günstigeren Verarbeitungseigenschaften beim Spritzgießen eine größere Bedeutung als Konstruktionswerkstoff für technische Anwendungen wie Steckverbindungen, Gehäuse von Haushaltsgeräten, Küchenspülen und Pumpenteilen. Neben Polyamid ist PBT der typische Polymerwerkstoff für Gehäuseteile im Motorraum von Kraftfahrzeugen. Bei Textilien werden insbesondere die geringe Knitterneigung, die hohe Reißfestigkeit sowie die gute Witterungsbeständigkeit von Polyesterfasern geschätzt. Auf Grund der gesundheitlichen Unbedenklichkeit können PET-Folien für Lebensmittelverpackungen eingesetzt werden.

Polyesterharze gibt es als Gießharze oder in Form von Lacken. Durch Einbettung von Fasermaterial wie z. B. Glasfasern wird die Festigkeit noch verstärkt, so dass sie sich sogar für Segelflugzeuge und den Karosserie- bzw. Bootsbau eignen. Außerdem werden UP-Harze zu Transportbehältern, Heizöltanks, Rohren, Profilplatten, Leuchtssockeln, Angelruten, Verkehrsschildern, Schutzhelmen, Verteilerkästen oder Mikrowellen verarbeitet. Verstärkt mit Kohlefasern können sie sogar beim Flugzeugbau oder in der Raumfahrt eingesetzt werden. Im Gegensatz zu den thermoplastischen, gesättigten Polyestern eignen sich die ungesättigten UP-Harze nicht zur Faserherstellung. Im Baugewerbe werden verschiedene Betonmischungen unter Zusatz von Polyesterharzen verstärkt.

**Verarbeitung:** Eine zerspanende Bearbeitung von Polyestern ist mit den üblichen Bearbeitungsmethoden möglich. Dünne Folien aus PET oder PBT können mit dem Cutter geschnitten werden. Ritzbrechen ist aber auf Grund der großen Zähigkeit nicht so leicht möglich. Zum Sägen eignen sich insbesondere hartmetallbestückte Sägeblätter. Die wichtigsten Herstellungsverfahren von Formteilen aus PET oder

PET lässt sich sehr gut kalt abkanten

Allgemeines	
Kunststoff Gummi	
Verbundwerkstoffe	
Holz Kork	
Papier Pappe Karton	
Metall	
Textilien Leder Kunstleder	
Bänder Ketten Schläuche	
Klein- und Formteile	
Zeichnen Grafik Büro	
Werkzeug Arbeitsschutz	
Klebstoff Klebeband	
Formen Abformen Gießen	
Farben Chemie Pinsel	
Basteln Werken Floristik	
Deko Display Event	
Modellbau	
Möbel Licht Systeme	
Behälter Taschen Verpackung	
Bücher Magazine Medien	
Karten Spielzeug Accessoires	
Anhang	

PBT sind das Spritzgießen und das Extrudieren. Hier liegen die Verarbeitungstemperaturen der Kunststoffmassen zwischen 250 °C und 290 °C. Hohlkörper wie Getränkeflaschen werden durch Blasformen erzeugt. Zur Umformung muss amorphes PET auf Temperaturen zwischen 95 °C und 120 °C erhitzt werden. Teilkristallines PET benötigt eine Temperatur von etwa 150 °C und kann hervorragend tiefgezogen werden. Sowohl PET als auch PBT lassen sich bis zum Hochglanz polieren, können eingefärbt und bedruckt werden. Fügeverbindungen entstehen entweder durch die üblichen Kunststoffschweißverfahren oder mit Klebstoffen auf Basis von Epoxidharz, Cyanacrylat oder Polyurethan.

Polyesterharze liegen in der Regel in nicht vernetztem Zustand als Gießmasse vor. Bei der Verarbeitung sollten die Herstellerinformationen beachtet werden. Die Aushärtung kann durch Wärmezufuhr beschleunigt werden, wobei in jedem Fall mit einer Schwindung zu rechnen ist. Nach der Aushärtung kann der Werkstoff mit gehärteten Werkzeugschneiden zerspannt werden. Handlaminieren und Spritztechniken finden zur Herstellung faserverstärkter Bauteile Verwendung. Abschließende Oberflächenbehandlungen sind üblich. Geklebt werden Polyesterharze am besten mit EP-Harzen.

**Lieferformen:** Halbzeuge aus Polyesterwerkstoffen sind in den konventionellen Formen wie Profile, Tafeln, Folien, Platten oder Rohre am Markt verfügbar. Ungesättigte Polyesterharze werden als Gießharze, Prepregs oder Pressformmassen vertrieben. Prepregs sind in Harz getränkte Gewebe oder Matten aus Fasermaterialien wie Glas-, Aramid- oder Kohlefasern.

**Handelsnamen:**

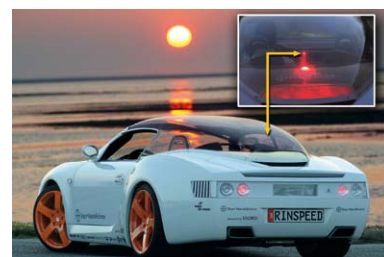
- PET: „Arnite“ – DSM Engineering Plastics, „Crastin“ – DuPont, „Hostaglas“ – A. Hagedorn AG, „Hostapet“ – Klöckner-Pentaplast, „Impet“ – Ticona, „Lemapet“ – Mitsubishi Engineering Plastics, „Valox“ – General Electric Plastics
- PBT: „Arnite“ – DSM Engineering Plastics, „Celanex“ – Ticono, „Crastin“ – DuPont, „Duranex“ – Polyplastics, „Enduran“ – General Electric Plastics, „Later“ – Lati Industria Thermoplastici, „Ultradur“ – BASF, „Valox“ – General Electric Plastics
- UP: „Bakelite“, „Keripol“ – Bakelite, „Ampal“, „Resipol“ – Raschig, „Palapreg“, „Palatal“ – DSM Resins, „Polylite“, „Plastopreg“ – Reichhold, „Supraplast“ – SWC

**Alternativen:** PA, PC, POM, Glas, PMMA (Acrylglas) für thermoplastische PolyesterEpoxyd-, Phenol-, Melaminharze für ungesättigte Polyesterharze

## Polycarbonat (PC)

Wie aus dem Nichts erstrahlt auf dem scheinbar schwebenden Dach das dritte Bremslicht als holographische Lichtfläche. Das Concept-Car „ZaZen“ zeigt anschaulich die Qualitäten von Polycarbonat, das als einer der klassischen Kunststoffe für optische Anwendungen gilt. Entwickelt wurde das Fahrzeug vom Autovisionär Rinderknecht in Zusammenarbeit mit der Bayer MaterialScience AG, die PC unter dem Handelsnamen „Makrolon“ vertreibt. Seit 1982 ist Makrolon das Trägermaterial für CDs und stellt heute mit einem Weltmarktanteil von etwa 30 Prozent den bevorzugten High-tech-Werkstoff für digitale Speichermedien aller Art dar. In den USA ist Polycarbonat als Gehäusewerkstoff eines amerikanischen Computerproduzenten bekannt geworden.

**Eigenschaften:** Polycarbonat zählt zu den Thermoplasten und hat eine amorphe bis gering kristalline Struktur. Es ist transparent, in unverstärktem Zustand glasklar, überaus schlagzäh und hat eine hohe Festigkeit. Die Eignung als typischer Werkstoff für Gerätegehäuse, optische Komponenten bis hin zu Schutzhelmen, Sportbrillen und Helmvisieren verdankt der Kunststoff außerdem seiner guten Härte, Kratzunempfindlichkeit und Formstabilität. Die maximalen Gebrauchstemperaturen liegen bei einer langfristigen Beanspruchung zwischen -135 °C und +130 °C. Kurzzeitig hält



„ZaZen“ – Conceptcar mit Dach aus Polycarbonat (PC), Entwickler: Bayer MaterialScience AG + Rinspeed AG

# Polycarbonat (PC)

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang



„exaxis“ – Conceptcar mit Karosserie aus Polycarbonat (PC), Entwickler: Bayer MaterialScience AG + Rinspeed AG



„ZaZen“ – Conceptcar mit Dach aus Polycarbonat (PC), Entwickler: Bayer MaterialScience AG + Rinspeed AG

Polycarbonat auch Temperaturen von bis zu 150 °C stand. Bei normalen Witterungsverhältnissen bleibt PC stabil. Wenn es jedoch lange Zeit der Sonne ausgesetzt ist, vergilbt der Werkstoff. Daher ist bei Verwendung im Außenbereich auf die Ausrüstung mit einem UV-Stabilisator zu achten. Außerdem sollte die vergleichsweise hohe Wärmedehnung berücksichtigt werden. Durch Zusatz von Fasern können sowohl die thermischen als auch die mechanischen Eigenschaften verbessert werden. Glasfaseranteile von 10–40 % sind üblich. Polycarbonat ist ein guter elektrischer Isolator. Neben einer guten Biokompatibilität, besitzt PC geruchs- und geschmacksfreie Eigenschaften. Es reizt weder Haut noch Augen. Lebensmittel sollten allerdings nur in Spezialsorten verpackt werden. PC ist darüber hinaus beständig gegen Öle, Fette, Benzin und verdünnte Säuren.

**Anwendung:** Typische Anwendungen von Polycarbonat sind elektrische oder optische Bauteile wie Schutzschalter, Sicherungskästen, LED-Ummantelungen, optische Datenspeicher, Mikroskopteile, Linsen, Kameras oder Scheinwerfer. Die mit bis zu 89 % hohe Lichtdurchlässigkeit bei gleichzeitig hoher Festigkeit macht den Werkstoff als Glaserersatz für Scheiben in Gewächshäusern, Wohnwagenfenstern oder für unzerbrechliche Brillengläser interessant. Seine hohe Schlagzähigkeit in einem großen Temperaturfeld und die gute Witterungsbeständigkeit empfehlen Polycarbonat außerdem für den Einsatz am Bau. Dank seiner guten Klebeeigenschaften und einfachen Verarbeitung ist er außerdem als Modellbauwerkstoff bestens geeignet. In hochwertigen Automobilen sparen leichte Verschleißungen aus Polycarbonat Energie und sorgen für mehr Fahrdynamik. 2007 wurde mit dem ConceptCar „eXaxis“ die weltweit erste transparente Fahrzeugkarosserie aus Polycarbonat von der Bayer MaterialScience AG in Kooperation mit Rinspeed entwickelt.

**Verarbeitung:** Polycarbonat kann mit den üblichen Techniken zerspannt werden. Wie PMMA (Acrylglas) ist PC relativ kerbempfindlich. Es lässt sich daher mit einem Cutter anritzen und brechen. Zur formgebenden Verarbeitung durch Spritzgießen, Extrusion oder Blaskformen wird die PC-Masse auf Temperaturen zwischen 275 °C und 350 °C erwärmt. Formtrennmittel wie Silikonspray sind kaum notwendig. Umformungen sind unter Wärmezufuhr zwischen 180 °C und 220 °C möglich. Damit keine Blasen entstehen, sollten Halbzeuge bei 150 °C vorgetrocknet werden. Für die Erstellung nahtloser Klebeverbindungen eignet sich Dichlormethan. Bei unlöslichen Werkstoffen kann Silikonkautschuk Verwendung finden. Für Schweißverbindungen eignen sich Heizelement-, Reibungs- und Ultraschallschweißen. Polycarbonat ist in allen Farben transparent oder deckend einfärbbar. Die Oberfläche kann durch Bedampfen metallisiert werden

**Lieferformen:** Polycarbonat-Halbzeuge gibt es in Form von Platten, Folien, Stäben, Stangen und Röhren. Am Bau werden Polycarbonat-Stegplatten eingesetzt. Um die optischen Qualitäten beim Transport nicht zu beeinträchtigen, wird PC-Plattenware in aller Regel mit Schutzfolie geliefert.

**Handelsnamen:** „Makrolon“ – Bayer MaterialScience, „Lexan“ – General Electric Plastics, „Calibre“ – Dow Chemical, „Anjalon“ – J&A Plastics, „Decarglass“ – Degussa AG, „Latilon“ – Lati Industria Thermoplastici, „Xantar“ – DSM Engineering Plastics, „Durolon“ – Polycarbonatos do Brasil

**Alternativen:** POM, PET, PMMA (Acrylglas)

# Polyvinylchlorid (PVC)

Kunstleder ist eine der klassischen Anwendungen für die weiche Variante von PVC. Gürtel, Schuhe, Taschen: die Produkte sind vielfältig. Genarbte und strukturierte Oberflächen machen es dem Naturprodukt zum Verwechseln ähnlich.

Nach den Polyolefinen PE und PP belegt der Thermoplast Polyvinylchlorid die dritte Position im Feld der Massenkunststoffe. Bereits 1835 gelang Renault erstmals die

Allgemeines	
Kunststoff Gummi	
Verbundwerkstoffe	
Holz Kork	
Papier Pappe Karton	
Metall	
Textilien Leder Kunstleder	
Bänder Ketten Schläuche	
Klein- und Formteile	
Zeichnen Grafik Büro	
Werkzeug Arbeitsschutz	
Klebstoff Klebeband	
Formen Abformen Gießen	
Farben Chemie Pinsel	
Basteln Werken Floristik	
Deko Display Event	
Modellbau	
Möbel Licht Systeme	
Behälter Taschen Verpackung	
Bücher Magazine Medien	
Karten Spielzeug Accessoires	
Anhang	

Synthese des Monomers Vinylchlorid. Es dauerte aber noch knapp ein Jahrhundert, nämlich bis Ende der 1920er Jahre, bis in den USA die erste industrielle Produktionsanlage für PVC in Gang gesetzt wurde. 1931 zog die I.G.-Farben in Ludwigshafen nach. Heute nimmt die weltweite PVC-Produktion etwa ein Viertel des gesamten Kunststoffmarktes ein. 2003 verließen 26.500.000 Tonnen des Kunststoffs die Reaktoren der chemischen Industrie. Seine große Bedeutung verdankt Polyvinylchlorid vor allem seinem geringen Herstellungspreis, der sich historisch aus der Rolle des Kunststoffs als Auffanglager für Chlor begründet. Der begehrte Chemierohstoff Natronlauge wurde durch elektrolytische Spaltung von Kochsalz (Natriumchlorid) erzeugt. Zurück blieben enorme Mengen Chlor, das man anschließend für die Herstellung von Polyvinylchlorid verwendete. Dieses historische Produktionsverfahren ist heute in der beschriebenen Form nicht mehr im Einsatz, obwohl neben Rohöl auch weiterhin Kochsalz als kostengünstiges Ausgangsmaterial Verwendung findet. Mit unzähligen Zusatzstoffen und Additiven ausgestattet, ist Polyvinylchlorid eines der wichtigsten Allroundmaterialien überhaupt.

**Eigenschaften:** Polyvinylchloride sind amorphe Thermoplaste mit sehr guter chemischer Beständigkeit. Sie lassen sich glasklar ausführen und sowohl transparent als auch gedeckt einfärben. Im Vergleich zu anderen Massenkunststoffen ist PVC auf Grund des hohen Chlorgehalts schwer zu entflammen. Ursprünglich hart und spröde, wird die Zähigkeit des Werkstoffs mit Weichmachern variiert und auf den Anwendungsfall eingestellt. In der Hauptsache unterscheidet man das harte PVC-U (unplasticized) von der weichen Variante PVC-P (plasticized).

PVC-U enthält keine Weichmacher und zeichnet sich dementsprechend im Vergleich zu PVC-P durch hohe mechanische Festigkeit und Härte aus. Die elektrischen Isolationseigenschaften sind für die meisten Anwendungen ausreichend und übertreffen die der weichen Variante. PVC-U ist bis zu einer Temperatur von 60 °C bedenkenlos einsetzbar. Bei tiefen Temperaturen ist jedoch mit Versprödung zu rechnen.

PVC-P sind bis zu 40 % Weichmacher wie Phthalate beigemischt, die dem Werkstoff nahezu gummielastische Eigenschaften mit hoher Dämpfungswirkung verleihen. Da Phthalate in Weich-PVC nicht fest eingebunden sind, dünnen sie aus und lösen sich beim Kontakt mit Flüssigkeiten oder Fetten. Sie stehen im Verdacht Unfruchtbarkeit, Übergewicht und Diabetes hervorzurufen und sind daher für Babyartikel und Kinderspielzeug verboten worden. Obwohl für die meisten Anwendungen bislang keine Risiken nachgewiesen sind, sollte auf die Verwendung von PVC-P verzichtet und auf Alternativen zurückgegriffen werden, die keine Weichmacher enthalten (z. B. PE, PP). Beim Verbrennen von Polyvinylchlorid können giftige Dämpfe entstehen.

**Anwendung:** Da PVC-U neben seinem geringen Preis auch noch schwer entflammbar ist, findet der Werkstoff insbesondere im Bauwesen Verwendung. Rohrleitungen, Fensterprofile, Dachrinnen, Rolläden, Blendschutzzäune und Straßenleitpfosten sind typische Anwendungen. Im Elektrobereich werden aus hartem PVC Isolierrohre, Verteilerkästen oder Kabelführungen hergestellt. Und selbst für den Maschinenbau ist PVC-U geeignet. PVC-Folien werden in der Verpackungsindustrie eingesetzt und finden Anwendung im Foto-Bereich und in der Medizintechnik. „d-c-fix“ ist eine bekannte Marke für eine PVC-Dekorfolie für Möbel. Wurden früher häufig auch transparente Flaschen, Einwegbecher und Blisterverpackungen aus PVC hergestellt, so ist der Kunststoff bei diesen Anwendungen heute in der Regel durch PET ersetzt. Als klassisches Beispiel für die weiche Variante von PVC kann man Schläuche nennen, die meist mit Gewebestrukturen verstärkt werden. Weitere PVC-P Produkte sind Fußböden, Tischdecken, Schrumpfschläuche, Puppen, Schwimmtiere, Schlauchboote, Schuhsohlen, Regenmäntel, Sandalen, Badelatschen, Stiefel, Abdeckfolien und Vorhänge. Als Alternative-Bodenbeläge kommen Holz oder Kork in Frage. PVC-Hartschäume werden zur Herstellung von Sportbooten oder Rotorblättern an Windkraftanlagen verwendet.

**Verarbeitung:** PVC-Formmassen können mit den üblichen formgebenden Techniken verarbeitet werden. Spritzgießen und Extrudieren erfolgt bei Temperaturen von knapp unter 200 °C. Hohlkörper aus PVC-hart entstehen durch Blasformen. Außerdem kann der Werkstoff geschäumt werden. Umgeformt wird PVC-U im Temperaturbereich zwischen 110 °C und 180 °C (z. B. Biegen, Tiefziehen). Allerdings sollten Umformungen nicht bei Temperaturen zwischen 140 °C und 165 °C erfolgen, da in



X-Film D-MG Farbfolie, opak, glänzend

# Polyvinylchlorid (PVC)

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselfBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

diesem Bereich die Dehnbarkeit stark eingeschränkt ist. Die zerspanende Bearbeitung ist mit den konventionellen Techniken gut möglich, allerdings bei den sehr weichen PVC-Varianten nur schwer durchführbar. Dünne Folien können mit Cutter oder Schere geschnitten werden. Ritzbrechen ist bei dickeren Platten möglich, da PVC-hart relativ kerbempfindlich ist. Polyvinylchloride können mit allen bekannten Kunststoffschweißverfahren geschweißt werden. Zum Kleben steht eine ganze Reihe von Klebstoffen zur Verfügung. PVC-PVC-Verbindungen sind mit Kleblacken oder Kontaktklebstoffen gut herzustellen. PVC-weich Klebungen gelingen am besten mit einem Spezialkontaktkleber. Technische Klebungen zwischen PVC und anderen Werkstoffen werden mit Lösungen von chloriertem PVC oder Zwei-Komponenten-Klebstoffen auf Polyester-, Polyurethan- oder Epoxidharzbasis erzeugt. Kleinflächige Klebungen können mit Cyacrylatklebstoffen (Schnellkleber) ausgeführt werden. Beim Schleifen ist zu beachten, dass feinere Körnungen als 80 keinen nennenswerten Abtrag erzielen, da der PVC-Abrieb das Schleifmaterial schnell verklebt. PVC-weich lässt sich nicht befriedigend schleifen. PVC-Folien und Platten können gut im Siebdruckverfahren bedruckt werden. Für den Offsetdruck werden spezielle Sorten angeboten. Zum Beschichten mit PVC-Pulvern wird das Wirbelsintern eingesetzt.

**Lieferformen:** Wie die anderen Kunststoffe ist PVC-hart in Form von Blöcken, Platten, Folien, Röhren, Stäben, Schnüren sowie als Schaum- oder Integralschaumplatte erhältlich. PVC-weich gibt es meist als Folienmaterial.

## Handelsnamen:

- Hart-PVC (PVC-U): „Dekadur“ – DEKA Rohrsysteme, „Vestolit“ – Vestolit, „Vinnolit“ – Vinnolit, „Vitaol“ – British Vita, „TempRite“ – PolyOne, „Solvyn“, „Renodur“ – Solvay, „Sicoplast“ – European Vinyls, „Siroplast“ – Hegler Plastik, „Pentadur“ – Klöckner-Pentaplast, „Norvinyl“ – Norsk Hydro
- Weich-PVC (PVC-P): „Airex“ – Aluisse Airex, „Alkorfol“, „Buflon“ – Solvay, „Benecor“, „Benefol“, „Benelit“ – Benecke, „Celvin“ – Courtaulds Chemical, „Friedola“ – Friedola Holzapfel, „Gealan“ – Gealan Werke Fikkenscher, „Gekaplan“ – Benecke-Kaliko, „Gumiplast“ – Saplast, „Taraflex“ – BAT taraflex

**Alternativen:** PE, PP, Eva, PS-SB, PET, PUR-Beschichtung für Textilien

# Polyurethan (PUR)



„Loft Cube Soft Cell“ – gel chair aus Technogel, Design: Werner Aisslinger

Es sieht aus wie Wackelpudding. Beim Betasten wird der Eindruck noch verstärkt. Die glibberartige Masse reagiert auf Druck, passt sich dem Körper an und leuchtet in den unterschiedlichsten Farben. Der Werkstoff ist unter dem Namen Technogel bekannt. Es handelt sich um ein hochflexibles Material auf Basis eines PUR-Elastomers mit einem geringen Vernetzungsgrad, das sich für Dämpfungsaufgaben bei Möbeln, Schuhen, Fahrradsätteln oder für orthopädische Anwendungen eignet. Da bei der Herstellung keine kritischen Additive oder Weichmacher verwendet werden, bleiben die Eigenschaften über viele Jahre stabil. Die optischen Qualitäten machen das Material auch für Leuchten und Lichtobjekte interessant.

**Eigenschaften:** Polyurethan ist einer der wichtigsten Werkstoffe für die Kunststoffindustrie. Er wird seit den 50iger Jahren großtechnisch produziert. Die Herstellung erfolgt durch Polyaddition. Je nach Zusammensetzung weist PUR duroplastische und elastische Eigenschaften auf. In einer Nebenreaktion kann der Werkstoff aufgeschäumt werden, was die große Bedeutung für die Schaumstoffindustrie erklärt. Er eignet sich besonders zum Umschäumen von Metallbauteilen. Duroplastische Gießharze werden je nach Anwendungsfall mit weit- oder engmaschiger Struktur verarbeitet. Sie lassen sich also hart bis weich-elastisch einstellen. Harte PUR-Harze sind bis 130 °C stabil, besitzen eine hohe Festigkeit und haben einen ausgesprochen geringen Abrieb. Durch Beimischung metallischer Pulver können die mechanischen Festigkeiten enorm verbessert werden, so dass sich der Werkstoff selbst für Anwendungen im Maschinenbau eignet. Elastomer-Gießharze haben eine Dichte von etwa 1,2 g/cm<sup>3</sup>, sind hochverschleißfest und weisen eine enorme Dämpfungswirkung auf.

Allgemeines	
Kunststoff Gummi	
Verbund- werkstoffe	
Holz Kork	
Papier Pappe Karton	
Metall	
Textilien Leder Kunstleder	
Bänder Ketten Schläuche	
Klein- und Formteile	
Zeichnen Grafik Büro	
Werkzeug Arbeits- schutz	
Klebstoff Klebeband	
Formen Abformen Gießen	
Farben Chemie Pinself	
Basteln Werken Floristik	
Deko Display Event	
Modellbau	
Möbel Licht Systeme	
Behälter Taschen Verpackung	
Bücher Magazine Medien	
Karten Spielzeug Accessoires	
Anhang	

Die maximalen Gebrauchstemperaturen liegen bei 80 °C. Neben den duroplastischen Gießharzen existieren auch thermoplastische PUR-Elastomere, die sich im Spritzguss oder durch Extrudieren in Formteile überführen lassen. Diese sind in der Regel frei von Weichmachern und haben eine transluzente, bräunliche Struktur. Unter Witterungseinflüssen neigen PUR-Oberflächen jedoch dazu zu vergilben. Daher werden sie in aller Regel mit kräftigen Farben eingefärbt.

**Anwendung:** Auf Grund des großen Eigenschaftsspektrums der PUR-Kunststoffe sind die Anwendungsmöglichkeiten vielfältig. Etwa 90 % der weltweiten Polyurethanproduktion geht in den Schaumbstoffbereich. Beispielanwendungen für Weichschaumstoffe sind Matratzen, Polster, Kissen oder Autositze. Außerdem werden sie für Verpackungen, zur Schallisolation oder als Beschichtungsmaterial für Textilien verwendet. Hartschäume finden als Türen oder Zwischenwände Anwendung im Bauwesen und werden in Karosserieteilen verarbeitet. Die isolierenden Eigenschaften werden beispielsweise für Kältetechnische Anlagen, den Schiffs- oder Fahrzeugbau verwendet. Montageschaum basiert auf Polyurethan. Im Produktentwicklungsprozess wird PUR-Hartschaum zur Anfertigung von Anschauungsmodellen benutzt. Thermoplastische PUR-Elastomere eignen sich besonders für Sportartikel wie Skischuhe, Fahrradsattel, Rollschuhrollen oder Sohlen von Laufschuhen. Moderne Fußbälle werden nahezu vollständig aus PUR gefertigt. Und auch die äußere Schicht einer Bowlingkugel besteht aus dem Kunststoff. Mit Schnellgießharzen werden Unikate und Kleinserien im Designbereich angefertigt. Polyurethan ist als Fasermaterial für Textilien auf Grund der großen Elastizität und der geringen Neigung zur Wasseraufnahme beliebt. Die hohe Beständigkeit gegen Lösungsmittel und Chemikalien sowie die guten Hafteigenschaften machen PUR für Lacke und als Grundierung besonders geeignet. Und auch als Klebstoff findet Polyurethan Verwendung.

**Verarbeitung:** Thermoplastische PUR-Elastomere werden mit den üblichen Verfahren wie Spritzguss und Extrudieren verarbeitet. Die Verarbeitungstemperaturen beim Spritzgießen liegen zwischen 190 °C und 240 °C. Auf Grund der hochelastischen Eigenschaften lassen sich leichte Hinterschneidungen für Schnappverbindungen auch ohne Schieber realisieren. Neben der Klebtechnik sind auch Schweißverfahren anwendbar. Um Lufteinschlüsse zu vermeiden, werden Gießharze meist unter Vakuum verarbeitet. Das Schwindmaß beträgt lediglich 0,5 %. Zerspanen von Hartschaumplatten ist üblich. Beim Modellbau können alle konventionellen Techniken angewendet werden. Hier sollte auf möglichst scharfe Schneidkanten geachtet werden. Korund-Schleifscheiben sind geeignet.

**Lieferformen:** Polyurethan wird sowohl in Form von Gießharzen als auch als Halbzeuge (Stangen, Profile, Blöcke) vertrieben. Hartschaumplatten sind in verschiedenen Dichten vorhanden. Bei den Harzen existieren lufttrocknende Einkomponenten-Systeme und 2-komponentige Reaktionsmassen.

**Handelsnamen:** PUR-Gießharze: „Adiprene“ – DuPont, „Elastopal“ – BASF, „Urepan“, „Vulkollan“ – Bayer MaterialScience

Schaumstoffe: „Aclacell“ – Acla-Werke, „Bayflex“, „Baytherm“ – Bayer MaterialScience, „Elastofoam“ – Elastogran

Thermoplastische PUR-Elastomere: „Desmopan“ – Bayer MaterialScience, „Elastollan C“ – BASF, „Estaloc“ – Goodrich Chemical, „Pellethan“ – Dow Chemical

Lacke: „Desmodur/Desmophen“ – Bayer MaterialScience

Textilfasern: „Elastan“ – Elastogran, „Dorlastan“ – Bayer MaterialScience, „Lycra“ – DuPont

**Alternativen:** Gummi-Elastomere, Silikone, Polyester- oder Epoxidharze

# Polymethylmethacrylat (PMMA)

- Allgemeines
- Kunststoff  
Gummi**
- Verbundwerkstoffe
- Holz  
Kork
- Papier  
Pappe  
Karton
- Metall
- Textilien  
Leder  
Kunstleder
- Bänder  
Ketten  
Schläuche
- Klein- und  
Formteile
- Zeichnen  
Grafik  
Büro
- Werkzeug  
Arbeits-  
schutz
- Klebstoff  
Klebeband
- Formen  
Abformen  
Gießen
- Farben  
Chemie  
Pinsel
- Basteln  
Werken  
Floristik
- Deko  
Display  
Event
- Modellbau
- Möbel  
Licht  
Systeme
- Behälter  
Taschen  
Verpackung
- Bücher  
Magazine  
Medien
- Karten  
Spielzeug  
Accessoires
- Anhang



*Acrylglasplatten geklebt, gedreht und poliert (Modell: Anna Dabrowski)*

Im Volksmund nennt man den thermoplastischen Kunststoff PMMA Plexiglas. Der Grund dafür liegt in der historischen Entwicklung des Materials. Otto Röhm konnte ihn 1933 erstmals industriell herstellen und verwendete zur Vermarktung eben diese Namen. Die chemische Bezeichnung ist Polymethylmethacrylat (PMMA). Auf Grund seiner exzellenten optischen Eigenschaften wird der Werkstoff auch Acrylglas genannt. Er findet breite Anwendung bei einer Vielzahl von Produkten mit optischen Qualitäten wie Brillengläser, Linsen oder Gewächshäuser. Mit PMMA stattete 1956 weltweit erstmals das Unternehmen Braun einen Plattenspieler mit einer Kunststoffhaube aus. Dieter Rams setzte sich mit dem SK 4, der auch „Schneewittchensarg“ genannt wird, ein Denkmal.

**Eigenschaften:** Polymethylmethacrylat ist ein ausgesprochen steifer und harter Werkstoff mit einer amorphen Struktur. Er ist glasklar und weist einen hohen Oberflächenglanz und eine hohe Brillanz auf. Die Dichte liegt bei  $1,18 \text{ g/cm}^3$ . Damit ist PMMA etwa nur halb so schwer wie beispielsweise Kalknatronglas ( $2,5 \text{ g/cm}^3$ ), das übliche Glas für Fensterscheiben. Sowohl Zug-, Druck- und Biegefestigkeit sind gut. Hinzu kommt die hohe Oberflächenhärte, was dem Material im Vergleich zu anderen Kunststoffen eine geringe Kratzempfindlichkeit verleiht. Für besondere Anwendungen sind auch schlagzähe PMMA-Sorten auf dem Markt verfügbar. Auf Grund der guten Licht-, Alterungs- und Witterungsbeständigkeit ist der Werkstoff für den Außeneinsatz bestens geeignet. Er weist eine geringe Neigung zur Feuchtigkeitsaufnahme auf und vergilbt nicht. Die Gebrauchstemperaturen liegen zwischen  $-40 \text{ °C}$  und  $70 \text{ °C}$ . Besonders wärmebeständige PMMA-Typen halten kurzzeitig auch Temperaturen von bis zu  $95 \text{ °C}$  aus. Acrylglas brennt nach dem Anzünden weiter. Es wird in der Regel aber als normal entflammbar (Baustoffklasse B2) eingestuft. PMMA ist für den Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen und chemisch beständig gegen Säuren und Laugen mittlerer Konzentration.

**Anwendung:** Die sehr guten optischen Eigenschaften in Kombination mit der guten Witterungsbeständigkeit und dem geringen Gewicht machen PMMA für Verglasungen beim Flug- und Fahrzeugbau interessant. Außerdem wird es bei der Herstellung von Reflektoren, Warndreiecken, Rücklichtern und Blinkergläsern verwendet. Die außerordentlichen Qualitäten findet man in Produkten der optischen Industrie wieder. So werden Uhrgläser, Lupen, Lichtleitfasern oder Photovoltaik-Anlagen unter Verwendung von Acrylglas hergestellt. Auch für Leuchtenabdeckungen, Lichtwerbung, Verkehrsschilder oder Leuchtbuchstaben ist der Werkstoff nicht mehr wegzudenken. Im Haushalt sind transparente Schüsseln, Kugelschreiber, Becher und Bestecke aus PMMA gefertigt. Beim Modellbau ist Acrylglas wegen seiner Brillanz beliebt. Im Bauwesen sind typische Anwendungen Industriefußböden, Badewannen und Verglasungen. Außerdem ist er ein wichtiger Bestandteil von Polymerbeton. Und auch in der Medizintechnik hat der Werkstoff für die Anfertigung von Zahnprothesen oder als wichtiger Bestandteil von Knochenzement eine Bedeutung.

**Verarbeitung:** PMMA-Formmassen können sehr gut durch Extrusion oder im Spritz- und Schleuderguss verarbeitet werden. Der Kunststoff wird dazu auf Temperaturen von  $200 \text{ °C}$  bis  $250 \text{ °C}$  für das Spritzgießen und  $180 \text{ °C}$  bis  $230 \text{ °C}$  für die Extrusion erwärmt. Sollen exzellente optische Qualitäten erzielt werden, ist auf die Sauberkeit der Maschinenkomponenten zu achten. Umformen und Biegen extrudierter Halbzeuge ist bei Temperaturen zwischen  $130 \text{ °C}$  und  $170 \text{ °C}$  gut möglich. Um Spannungsrisse zu vermeiden, sollte das Werkstück 2–3 Stunden bei Temperaturen zwischen  $60 \text{ °C}$  und  $80 \text{ °C}$  getempert werden. Je nach Umformgrad ist es gegebenenfalls unter Formzwang zu lagern. Anschließend sollte man es sehr langsam abkühlen lassen (maximal  $15 \text{ °C}$  pro Stunde). Neben den formgebenden Verfahren ist Zerspanen von Acrylglas sehr gut möglich. Dabei werden hohe Schnittgeschwindigkeiten erreicht. Dünne Folien können leicht mit dem Cutter geschnitten werden. Gerade Schnitte durch dickere Platten lassen sich ritzbrechen. Ab einer Materialstärke von  $1,5 \text{ mm}$  sollte man für den Zuschnitt eine hartmetallbestückte Kreissäge verwenden. Acrylglas kann darüber hinaus auch sehr gut mit dem Laser geschnitten und graviert werden. Der Nachbearbeitungsaufwand zur Erzielung optisch einwandfreier Schnittkanten ist hier geringer. Beim Bohren unterstützt die Verwendung von Bohrspitzen mit Spitzenwinkel von  $60^\circ$  bis  $90^\circ$  und Bohröl die Erzeugung glatter Löcher. Für die Oberflächenbehandlung empfiehlt sich die Verwendung von kunststoffgeeigneten Schleifpapieren, Poliertüchern und Polierpasten. Sollen Wärmespannungen vermieden werden, ist Nassschleifen angebracht. Hierzu eignet sich wasserfestes

Schleifpapier der Körnungen 320 – 400 – 600 – 1000. Da Acrylglas als polarer und lösungsmittellöslischer Kunststoff sehr gut geklebt werden kann, haben Schweißtechniken keine große Bedeutung. Um spannungsfreie Fügeverbindungen zu erzeugen, sollten die Bauteile vor dem Verkleben getempert werden. Für das Kleben von zwei Acrylglasoberflächen eignet sich Dichlormethan. Bei großen Flächen ist die Verwendung von lighthärtenden Reaktionsklebstoffen auf PMMA-Basis (z. B. Acrifix) ange-raten. Dichlormethan verwendet man ebenfalls zur Erzeugung von Klebeverbindungen zwischen Acrylglas und anderen lösungsmittellöslischen Thermoplasten wie Polycarbonat oder Polystyrol. Für unterschiedliche Materialpaarungen sind auch Silikonkautschuke oder Kontaktklebstoffe geeignet.

**Lieferformen:** PMMA ist grundsätzlich in Form extrudierter oder gegossener Halbzeuge auf dem Markt erhältlich. Während die Abkürzung „XT“ für „extrudiert“ steht, bezeichnet „GS“ gegossene PMMA-Teile. Gegossenes Acrylglas hat einen verarbeitungstechnischen Vorteil. Es lässt sich leichter zerspanen. Acryl XT schmilzt bei der Bearbeitung schneller, verschmiert Bohrer und Sägen und behält eine weiße Schnittkante. Es ist allerdings preisgünstiger als die gegossene Variante. Acryl XT ist in Form dünner Platten und als Stäbe, Rohre, Profile, Kugeln und Würfel erhältlich. Am Bau werden Acryl-Stegplatten eingesetzt. Gegossenes PMMA gibt es in den verschiedensten Farben und Stärken, als dünne und dicke Tafeln bis hin zu Blöcken. Die meisten Acryl-Halbzeuge werden mit Schutzfolie geliefert, damit sie beim Transport nicht zerkratzen.

**Handelsnamen:** „Plexiglas“ – Röhm, „Altuglas“, „Velite“, „Orogas“ – Atoglas, „Deglas“, „Paraglas“ – Degussa, „Primal“ – Rohm & Haas, „Quarite“ – Aristech Chemical, „Cristalite“ – Schock, „Dunova“ – Bayer MaterialScience, „Durocron“ – Mitsubishi, „Lucite“ – DuPont

**Alternativen:** Glas, PC, PET, PVC

## Polyoxymethylen (POM)

Der konstruktive Glasbau hat in der zeitgenössischen Architektur eine große Bedeutung. Um nach außen hin die Glasfläche vollständig zur Geltung zu bringen, kommen zur Befestigung der Glasplatten an der Fassade Punkthalter zum Einsatz, durch die der konstruktive Aufwand auf ein Minimum reduziert werden kann. Die einzelne Scheibe wird mit vier oder sechs Haltern an der Baukonstruktion befestigt. Ein wichtiger Bestandteil dieser Punkthalter ist eine Kunststoffeinlage, die Biegezugbeanspruchungen abfedert. Neben einigen anderen Alternativen werden diese in der Regel aus dem thermoplastischen Kunststoff Polyoxymethylen (POM) gefertigt, den man auch unter den Namen „Polyacetal“ oder „Polyformaldehyd“ kennt.

**Eigenschaften:** Polyoxymethylen ist ein sehr steifes und dimensionsstabiles Material. Es zählt zur Gruppe der technischen Kunststoffe. Die guten mechanischen Eigenschaften, wie hohe Härte, sehr gute Zähigkeit, hohe Festigkeiten und gute Chemikalienbeständigkeit verdankt der Werkstoff seinem hochkristallinen Gefüge. Der kristalline Anteil beträgt etwa 75 %. Daher ist POM in ungefärbtem Zustand weiß-opak und hat einen hohen Oberflächenglanz. Der niedrige Gleitreibungskoeffizient und die hohe Abriebfestigkeit machen Polyoxymethylen als Lagerwerkstoff und für Gleit- und Führungselemente im Maschinenbau sehr interessant. POM hat eine hohe Wärmeformbeständigkeit und ist bei Temperaturen zwischen -40 °C und 90 °C einsetzbar. Durch Zusatz von Glasfasern können die mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen gesteigert werden. Das gute Federungsvermögen macht POM ideal für Schnappverbindungen. Weiterhin zu erwähnen ist die gute Isolationseigenschaft vor elektrischen Strömen. POM ist physiologisch unbedenklich. Zu starke UV-Strahlung führt zur Versprödung des Werkstoffs.

**Anwendung:** POM kann sein besonderes Eigenschaftsprofil vor allem bei dünnwandigen Präzisionsteilen ausspielen. Bauteile mit Wandstärken von nur 0,15 mm sind



POM (Delrin) Rundstab

- Allgemeines
- Kunststoff Gummi**
- Verbundwerkstoffe
- Holz Kork
- Papier Pappe Karton
- Metall
- Textilien Leder Kunstleder
- Bänder Ketten Schläuche
- Klein- und Formteile
- Zeichnen Grafik Büro
- Werkzeug Arbeitsschutz
- Klebstoff Klebeband
- Formen Abformen Gießen
- Farben Chemie Pinsel
- Basteln Werken Floristik
- Deko Display Event
- Modellbau
- Möbel Licht Systeme
- Behälter Taschen Verpackung
- Bücher Magazine Medien
- Karten Spielzeug Accessoires
- Anhang

# Polyoxymethylen (POM)

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselfBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

möglich, die in der Feinwerktechnik, Fahrzeugindustrie, im Bauwesen und für Haushaltsgeräte Verwendung finden. Typische Verwendungsbeispiele sind Zahnräder, Umlenkrollen, Kupplungsteile, Kabelführungen, Laufräder, Spulenkörper, Wälzlagerkäfige, Lüfterräder, Türschlosssysteme und Federelemente. In der Textilbranche kommt der Werkstoff für Reißverschlüsse oder Gardinenrollen in Frage. Für Möbeldesigner ist die Eignung des Werkstoffs für Scharniere und Beschläge interessant. Auch wird POM für die Herstellung von Gasampullen und Fahrzeugtanks verwendet.

**Verarbeitung:** Spritzgießen, Extrudieren oder Blasformen ist bei Temperaturen der Polyoxymethylen-Masse zwischen 180 °C und 220 °C sehr gut möglich. Ein Schwindmaß von 1–3 % muss aber eingerechnet werden. Gebogen werden kann der Werkstoff unter Wärme bei etwa 160 °C. Warmumformen ist aber eher ungewöhnlich. Geschweißt werden kann POM mit allen Kunststoffschweißtechniken. Kleben ist schwierig, da Polyoxymethylen zu den Kunststoffen mit niedriger Oberflächenenergie zählt. Um die Haftung des Klebstoffs zu erhöhen, sollte die Oberfläche zum Beispiel durch Beflammen vorbehandelt werden. Dann sind Zweikomponentensysteme für die Klebeverbindung geeignet. POM kann sehr gut zerspannt werden. Eine Kühlung ist nicht erforderlich. Der Werkstoff ist geeignet für das Einbringen gewindeformender Schrauben. POM-Oberflächen können im Vakuum metallisiert, lackiert, beflockt und mit dem Laser beschriftet werden.

**Lieferformen:** Polyoxymethylen ist in Form von Granulat für die Weiterverarbeitung am Markt erhältlich. Auch Halbzeuge können bezogen werden.

**Handelsnamen:** „Anjaform“ – J&A Plastics, „Delrin“ – DuPont, „Tenac“ – Asahi Thermofil, „Celcon“, „Hostaform“ – Ticona, „Duracon“ – Polyplastics, „Kepital“ – Korea Engineering Plastics, „Ultraform“ – BASF, „Fürkaform“ – Solvadis Polymere, „Lucel“ – LG Chemical

**Alternativen:** PA, Polyester, PTFE

# Celluloseester



Schnürsenkelkappen aus Celluloseester

Dieser Kunststoff ist jedem Kleinkind bekannt. Akribisch wird die transparente Röhre an den Enden eines Schnürsenkels mit dem Fingernagel aufgeritzt und das Faserbündel von der Umklammerung befreit. Der Spaß kann beginnen! In den Mund nehmen, dran saugen oder einfach nur zerfleddern. Toll! Kaum einem Kind ist bewusst, was diese Röhre eigentlich am Schnürsenkel zu suchen hat. Und dass sie aus einem ganz besonderen Kunststoff hergestellt wird, schon mal gleich gar nicht. Die zur Röhre geklebte Folie besteht in aller Regel aus einem Celluloseester. Dies ist der Oberbegriff für eine Kunststoffsorte, die nicht auf Basis von Rohöl entsteht sondern durch Abwandlung von Cellulose. Diese wird aus Baumwolle, Nadel- oder Laubhölzern gewonnen und ist der Grundstoff für die moderne Papierproduktion.

**Eigenschaften:** Zu den Celluloseestern zählen Celluloseacetat (CA), Cellulosetriacetat (CTA), Cellulosepropionat (CP) und Celluloseacetobutyrat (CAB). Dies sind amorphe, also klar transparente Kunststoffe mit thermoplastischen Merkmalen (Lichtdurchlässigkeit: 90 %). Die Dichten der verschiedenen Sorten liegen zwischen 1,17 g/cm<sup>3</sup> und 1,29 g/cm<sup>3</sup>. Während CA und CTA aus der Reaktion von Cellulose mit Essigsäure hervorgehen, ist bei Celluloseacetobutyrat Ethan- und Buttersäure für die Polymerbildung verantwortlich. Das Cellulosemolekül ist sehr steif. Daher werden Celluloseestern zur Beeinflussung der Qualitäten für Anwendung und Verarbeitung Weichmacher beigemischt. Auf Grund der hohen Schlagzähigkeit und guten Festigkeit sind sie besonders zur Einbettung von Metallteilen geeignet. Die Oberflächen sind stark glänzend, kratzfest und weisen einen selbstpolierenden Effekt auf. Celluloseester sind dauerhaft verwendbar bis etwa 100 °C, beständig gegen Wasser, Mineralöle, schwache Säuren und Fette aber nicht zugelassen für den Kontakt mit Lebensmitteln.

CA-Fasern schimmern edel und sind mit Seide vergleichbar. Sie knittern wenig, sind dehnbar und nehmen wenig Wasser auf. Ihre Beständigkeit gegen äußere Witterungseinflüsse ist gut. Bakterien und Pilze können dem Material nichts anhaben, so dass Textilien aus Celluloseacetat noch nach Jahren auf den Deponien aufzufinden sind.

**Anwendung:** Celluloseester werden auf Grund der hohen Schlagzähigkeit und guten Transparenz meist zu Bauteilen für optische Aufgaben, Spielwaren und Sportartikeln verarbeitet oder finden in der Möbel- und Fahrzeugindustrie Verwendung. Typische Produktbeispiele sind Leuchtenabdeckungen, Taucherbrillen, Werbeschilder, Kugelschreiber, Lampenschirme, Modellspielzeug, Schablonen, Zahnbürsten, Besteckgriffe oder Taschenmesserabdeckungen. In Displays für Handys oder Flachbildschirmen wird CA-Folie verarbeitet. Eine Anwendung aus dem Handwerkerbereich ist der farbig transparente Griff eines Schraubendrehers.

Textilien aus Acetatfasern sind auf Grund des besonderen Glanzes typische Ersatzstoffe für Seide. Sie werden wegen der geringen Neigung zur Wasseraufnahme für Schirme und Regenmäntel verwendet. Neben dem Textilbereich wandert ein Großteil der CA-Faserproduktion in die Herstellung von Zigarettenfiltern.

**Verarbeitung:** Celluloseester können sehr gut verspritzt werden. Da allerdings ihre Zersetzungstemperatur nur wenig über der Erweichungstemperatur liegt, sollten den Polymermassen vor der Verarbeitung Füllstoffe beigemischt werden. CTA wird in der Regel zu Folienmaterial vergossen. Für große Behälter mit gleichmäßigen Wandstärken hat sich das Rotationsgießen empfohlen. Die Warmumformung ist selten und meist nur bei CAB in der Anwendung. Hier werden gute Ergebnisse bei Temperaturen zwischen 180 °C und 200 °C erzielt. Da Celluloseester durch organische Mittel gut zu lösen sind, können Verklebungen unter Verwendung von Dichlormethan durchgeführt werden. Schweißen ist mit allen für Kunststoffe üblichen Techniken möglich. Gleiches gilt für die zerspanende Bearbeitung. Hier ist insbesondere die gute Polierbarkeit hervorzuheben. Zur Veredelung können Celluloseesteroberflächen bedruckt, lackiert oder metallisiert werden. Auch Heißprägen ist üblich. Die Kratzfestigkeit kann durch einen dünnen Silikonfilm erhöht werden. Für den Korrosionsschutz werden Metalle in der Wirbelsinterertechnologie nach Erwärmung auf über 300 °C mit Celluloseesterpulver beschichtet.

**Lieferformen:** Folien sind die typischen Halbzeuge, in denen Celluloseester vertrieben werden. CAB ist auch in Form von Rohren erhältlich. CA und CTA werden im Handel oftmals als Acetate bezeichnet.

**Handelsnamen:**

- CA: „Bergacell“ – PolyOne, „Clarifoil“, „Courtoid“, „Dexel“ – Courtaulds Chemical & Plastics, „Cello M“, „Viscacelle“ – BCL, „Ethocel“ – DuPont, „Setilithe“ – Tubize Plastics
- CTA: „Tacphan“ – Lofo High Tech Film
- CP: „Cellidor P“ – Albis, „Tenite Propionate“ – Eastman
- CAB: „Dekazo“ – DEKA, „Tenex“ – Teijin

**Alternativen:** PE, PS, PVC, PMMA, PC

## Silikone

Silikone entstehen auf Basis von Siliziumketten. Diese bilden die Grundbestandteile hochmolekularer Verbindungen, die als Elastomere oder Duropolaste auftreten können. Auffallend ist die Beständigkeit des Werkstoffs auch bei hohen Temperaturen, was ihn für eine ganze Reihe von Anwendungen alternativlos macht. In der Ausstellung „Körperwelten“ des Anatoms Gunther von Hagen wurden die Flüssigkeiten biologischer Körper durch Silikonharz ersetzt. Auf diese Weise konnten diese für eine längere Zeit konserviert werden.



Acetat-Folie transparent (Ultraphan)

- Allgemeines
- Kunststoff Gummi**
- Verbundwerkstoffe
- Holz Kork
- Papier Pappe Karton
- Metall
- Textilien Leder Kunstleder
- Bänder Ketten Schläuche
- Klein- und Formteile
- Zeichnen Grafik Büro
- Werkzeug Arbeitsschutz
- Klebstoff Klebeband
- Formen Abformen Gießen
- Farben Chemie Pinsel
- Basteln Werken Floristik
- Deko Display Event
- Modellbau
- Möbel Licht Systeme
- Behälter Taschen Verpackung
- Bücher Magazine Medien
- Karten Spielzeug Accessoires
- Anhang

# Silikone

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselfBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang



Silikonplatte transluzent, farblos



„Atolla alba BL“ – Lichtskulptur, Silikon,  
Pigment, Blacklight,  
Design: Jürgen Reichert

**Eigenschaften:** Grundsätzlich unterscheidet man Silikonelastomere, Silikonharze und Silikonöle bzw. -fette. Silikonkautschuk ist uns als Dichtungsmasse für Türrahmen und Fenster bekannt. Die Dichte beträgt etwa  $1,2 \text{ g/cm}^3$ . Der Werkstoff kann bei Temperaturen von  $-60 \text{ °C}$  bis  $+180 \text{ °C}$  eingesetzt werden. Kurzzeitig hält er sogar Temperaturen von bis zu  $300 \text{ °C}$  stand. Auf Dämpfe ab  $100 \text{ °C}$  reagieren Silikonelastomere empfindlich. Die Elastizität von Silikon ist mit normalen Gummi-Elastomeren vergleichbar. Silikonelastomere besitzen eine sehr hohe chemische Beständigkeit, sind wasserabweisend und haben gute elektrische Isolationsseigenschaften. Neben der bei Raumtemperatur vulkanisierenden Sorte, gibt es heißvulkanisierende Silikonkautschuke mit größerer Wärmeformbeständigkeit und elastischen Eigenschaften bei sehr niedrigen Temperaturen. Silikon ist physiologisch unbedenklich.

Silikonharzmassen weisen eine hervorragende elektrische Isolationswirkung auch bei hohen Temperaturen (bis  $300 \text{ °C}$ ) auf. Auf Grund der sehr guten Wärmeformbeständigkeit können sie zum Teil bis  $250 \text{ °C}$  dauerhaft verwendet werden. Sie haben eine hohe Oberflächenhärte und brennen nicht.

Silikonöle werden insbesondere wegen ihrer guten Schmiereigenschaften in einem weiten Temperaturbereich verwendet.

**Anwendung:** Das uns allen als Dichtwerkstoff aus dem Baugewerbe bekannte Silikon ist ein kaltvulkanisierender Silikonkautschuk, der auch zur Versiegelung von Wanddurchbrüchen Verwendung findet. Im Modellbau hat es auf Grund seiner antihaftenden Wirkung eine große Bedeutung als Formwerkstoff für den Vakuumguss und zur Herstellung von Negativformen für den Kunstguss oder die Zahnmedizin. Silikonschläuche kommen in der chemischen Industrie und im Flugzeugbau zur Anwendung. In der Medizin wird Silikonkautschuk für Bluttransfusionsschläuche, künstliche Herzklappen und Adern eingesetzt. In Gelform kommt es für Brustimplantate zur Anwendung. Silikonelastomere haben eine große Bedeutung als hitzebeständige Elektroisolierung. Im Haushalt werden zum Beispiel elastische Kuchenformen aus Silikon gefertigt. Silikonbeschichtungen machen Textilien luftundurchlässig und erhöhen die Beständigkeit vor ultravioletten Strahlen.

Silikonharze werden zur Einbettung von Elektronikbauteilen verwendet. Sie sind Bestandteil hitzebeständiger Lacke.

Silikonöle- bzw. -fette eignen sich als Trennmittel für Gießformen. Es wird als Poliermittelzusatz bei Autolacken verwendet und ist Bestandteil von Metallputzmitteln.

**Verarbeitung:** Silikonkautschuk kann gießtechnisch verarbeitet werden. Im Baugewerbe wird kaltaushärtendes Silikon verwendet, das nach der Vernetzung einfach mit einem Messer geschnitten werden kann. Silikonharze können unter Einwirkung von Druck und Wärme verpresst werden. Anschließend lassen sich diese zerspanend bearbeiten. Klebstoffe auf Silikonbasis sind vorhanden.

**Handelsnamen:** Silikonelastomere: „Elastosil“, „Silres“ – Wacker Chemie, „Rhodosil“ – Rhodia Engineering Plastics

Silikonöl: Wacker Chemie

**Alternativen:** Gummi-Elastomere, PUR-Elastomere als Alternativen für Silikonkautschuk

# Gummi-Elastomere

Der Naturgummi „Kautschuk“ war schon den Indianern bekannt und diente den Hochkulturen Mittelamerikas unter anderem zur Herstellung von Bällen für das traditionelle Pelota-Spiel, eine Art frühkulturelles Basketball. Es war jedoch kein sportlicher Wettbewerb sondern eine kultische Handlung, die in der Nähe von Pyramiden oder Tempeln stattfand. Zwei Mannschaften mit jeweils drei bis fünf Spielern standen sich auf einem Spielfeld gegenüber. Dieses wurde von Mauern mit behauenen Steinen umrandet, so dass das Spielen über Bande möglich war. Ziel war es, den Ball mit Hüfte, Gesäß, Ellenbogen oder Knien durch steinerne Ringe zu befördern, die mittig in den Seitenwänden verankert waren. Archäologen vermuten hinter dem Spiel einen Sonnenritus. Der Ball symbolisierte vermutlich die Sonne, sein Flug den Lauf am Firmament, und dieser sollte niemals enden. Der Ball durfte also nicht den Boden berühren. Mislang dies einem Spieler, hatte seine Mannschaft verloren. Besondere Eigenschaft des Kautschuk-Balls war seine enorme Sprungkraft und Elastizität.

Grundlage für den natürlichen Werkstoff ist damals wie heute der Saft des Kautschukbaums, also Latex. Dieser wird als Naturkautschuk (NR) bezeichnet und hat hervorragende elastische Eigenschaften. Gummibänder können teilweise auf das Zehnfache der Ausgangslänge gedehnt werden. Die industrielle Verwendung elastomerer Kautschuke verdanken wir Charles Goodyear, der 1851 ein Vulkanisationsverfahren zu ihrer Herstellung entwickelte. Er versetzte das Naturprodukt mit Schwefel und konnte damit die elastischen Eigenschaften dauerhaft fixieren. Naturkautschuk schwimmt in Wasser, weist eine hohe Zug- und Reißfestigkeit auf und ist bei Temperaturen zwischen -50 °C und +70 °C dauerhaft einsetzbar. Durch Variation des Schwefelgehalts (bis 2 %) lässt sich die Elastizität einstellen. Hartgummi hat einen hohen, Weichgummi verfügt über einen niedrigen Schwefelanteil. Negativ für die Gebrauchseigenschaften wirkt sich die schlechte Witterungsbeständigkeit des Werkstoffs aus.

Knapp 40 % der gesamten Gummiproduktion werden durch Naturkautschuk abgedeckt. Der Rest sind synthetisch erzeugte Kautschuksorten wie Styrol-Butadien-Kautschuke (SBR) oder Chloropren-Kautschuke (CR). Sie weisen gegenüber der natürlichen Sorte optimierte Eigenschaftsprofile auf und werden zu einem Großteil für die Herstellung von Reifen verwendet. SBR ist im Vergleich zu NR zwar weniger elastisch aber dafür beständiger gegen mechanischen Abrieb und anwendbar bis zu einer Temperatur von 110 °C. Beiden eigen ist das starke Quellverhalten in Fetten und Mineralölen. Gegenüber SBR und NR weist CR eine höhere Alterungsbeständigkeit auf und ist flammfester. Bei Temperaturen unter 0 °C neigen Chloropren-Kautschuke zur Verhärtung.

**Anwendung:** Natürliche Elastomere werden in Ballons, Kondomen, Handschuhen und Textilien ebenso verwendet wie in technischen Produkten wie Gummifedern, Membrane oder Motorlager. Die bei Gestaltern und Modellbauern bekannteste Anwendung für das preiswerte SBR ist Moosgummi. Es findet sich außerdem in Fußbodenbelägen wieder und wird zu Dichtringen, Schläuchen und Kabelummantelungen verarbeitet. Die hohe Kältebeständigkeit macht es besonders für Außenanwendungen geeignet. Verwendet werden Chloropren-Kautschuke für Faltenbälge, Dichtungen, Dachbeläge und Schutzbekleidung.

**Verarbeitung:** Gummimischungen können zu Halbzeugen gepresst, zu Formteilen spritzgegossen oder zu Schläuchen und Rohren extrudiert werden. Die Vulkanisation findet während oder direkt im Anschluss an den Formgebungsprozess statt. Handschuhe werden in Tauchvorgängen erzeugt. Eine zerspanende Bearbeitung von Elastomeren ist auf Grund der starken elastischen Eigenschaften nahezu ausgeschlossen.

**Lieferformen:** Latex ist als zähflüssige Masse für den Modellbau erhältlich. Die größten Naturkautschukproduzenten sind heute Thailand, Indonesien und Malaysia (Erhebung aus dem Jahr 2005). Synthetische Kautschuke gibt es in den üblichen Halbzeugformen sowie als Schläuche und Schaumstoffe.



Latexfolie



Naturkautschuk

- Allgemeines
- Kunststoff Gummi**
- Verbundwerkstoffe
- Holz Kork
- Papier Pappe Karton
- Metall
- Textilien Leder Kunstleder
- Bänder Ketten Schläuche
- Klein- und Formteile
- Zeichnen Grafik Büro
- Werkzeug Arbeitsschutz
- Klebstoff Klebeband
- Formen Abformen Gießen
- Farben Chemie Pinsel
- Basteln Werken Floristik
- Deko Display Event
- Modellbau
- Möbel Licht Systeme
- Behälter Taschen Verpackung
- Bücher Magazine Medien
- Karten Spielzeug Accessoires
- Anhang

# Gummi-Elastomere

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

## Handelsnamen:

- NR: SMR-Kautschuke, CrepeSBR: „Buna EM“, „Krylene“, „Krymol“ – Bayer MaterialScience, „Europrene“ – Enichem, „Solflex“ – Goodyear Chemicals, „Neoprene“ – DuPont
- CR: „Baypren“ – Bayer MaterialScience, „Breon“, „Hytemp“ – Zeon, „Butaclor“ – Enichem, „Butaprene“ – Firestone Polymers, „Intol“ – International Synthetic Rubber

# Polymerschäume

Bekannt wurden Polymerschäume durch die spektakuläre Bergung eines Frachters im Hafen von Kuwait im Jahr 1963. Geschäumtes Polystyrol, bekannt unter dem Namen Styropor, rückte das erste Mal ins Interesse der Öffentlichkeit. Die Hebung des Schiffes gelang, da der Polyschaum ein ungeheuer großes Luftvolumen bei kleiner Masse einschließt und dadurch einen riesigen Auftrieb verursachte. Heute umgeben uns Schaumstoffe nahezu in allen Lebenslagen und sind unsere ständigen Begleiter, sei es im Schlaf- und Wohnzimmer für Matratzen und Sofas oder im Baugewerbe, wo sie wegen ihrer außerordentlichen wärmedämmenden Eigenschaften geschätzt werden.

**Eigenschaften:** Charakteristisch für alle Polymerschäume ist die geringe Dichte, das hohe Absorptionsvermögen für plötzlich einwirkende Kräfte, die geringe Wärmeleitfähigkeit und die niedrige Festigkeit. Schaumstoffe lassen sich in einem weiten Spektrum zwischen weich-elastisch (Weichschaumstoffe) und hart-zäh (Hartschaumstoffe) einstellen. Theoretisch kann jeder Kunststoff geschäumt werden, egal ob Thermoplast, Duroplast oder Elastomer. Typische Ausgangspolymere sind im thermoplastischen Bereich Polystyrol (PS), Polypropylen (PP) und Polyvinylchlorid (PVC). Aus Polyurethan können sowohl elastomere Weich- als auch duroplastische Hartschäume hergestellt werden. Beim Schäumvorgang entstehen Lufträume, die in einem Werkstoffgerüst dauerhaft fixiert werden. Neben harten und weichen Varianten unterscheidet man geschlossen- von offenzelligen Schaumstoffen. Offenzelligkeit wird in der Regel bei weichen Schaumstoffen angestrebt. Geschlossene Poren reduzieren die Wärmeleitfähigkeit von Hartschäumen, steigern aber deren Festigkeit. Integral-schaumstoffe weisen eine unterschiedliche Dichteverteilung auf. Während der Kern sehr locker strukturiert ist, nimmt die Dichte nach außen hin zu. Die Zellstruktur wird kompakter, steifer und bildet nach außen eine glatte Schicht.

**Herstellung:** Grundsätzlich werden drei Verfahren unterschieden, mit denen sich Polymerschäume herstellen lassen: physikalisches, chemisches und mechanisches Schäumen. Beim physikalischen Schäumen wird einem thermoplastischen Kunststoff ein Treibmittel zugesetzt, das nach Erhitzen im schmelzflüssigen Werkstoff verdampft und nach Abkühlung Hohlräume bildet. Chemisches Schäumen geht auf die Ausgasung einer flüchtigen Komponente in Folge einer Reaktion zweier Substanzen zurück. Wird Luft in ein duroplastisches Harz eingerührt und verfestigen sich die Hohlräume bei der Vernetzung, spricht man von mechanischem Schäumen.

Polystyrol entsteht in einem physikalischen Prozess. Dem Granulat ist ein Treibmittel beigemischt, das nach Erhitzen verdampft und kleine Bläschen bildet. Das Polystyrol poppt zu den bekannten Kügelchen auf. Noch mehr Dampf bringt diese in der zweiten Produktionsphase zum Verschweißen. Styroporblöcke, -platten und -formteile sind das Resultat.

Die wesentlich festeren Polystyrol-Hartschäume entstehen im Extrusionsprozess. Das mit Treibmittel vermischte Granulat wird durch Wärmezufuhr erweicht und durch die Extruderdüse gepresst. Verlässt der Materialstrang die Düse, expandiert das Treibmittel um das 20- bis 50-fache und schäumt den Kunststoff auf. Ähnlich sieht die Herstellung von geschäumten Plattenextrudaten aus Polypropylen aus.

Da Polyurethan nach der Vernetzung nicht mehr schmilzt, wird zur Herstellung von PUR-Schäumen ein anderes Verfahren auf Basis flüssiger, reaktionsfähiger Ausgangssubstanzen gewählt. In einer Polyaddition reagieren Polyole und Isocyanat miteinander und vernetzen zu Polyurethan. Wird den Polyolen als Treibmittel Wasser beigemischt, bildet sich nach einer chemischen Reaktion mit einem Teil des Isocyanats Kohlendioxid, das den Kunststoff aufschäumt. Je nach Qualität der Polyole können PUR-Schaumstoffe weich-elastisch bis zäh-hart eingestellt werden. Durch Beimischung von Fasermaterialien wie Gesteins-, Glas- oder Kohlefasern ist die Erzeugung sehr wärmeformbeständiger PUR-Schaumstoffe möglich, die selbst als Stoßfänger im Fahrzeugbau eingesetzt werden können.

Für das Herstellen von Schaumstoffteilen mit einer festen Außenhaut im Spritzgussverfahren hat sich ein besonderer Fachbegriff entwickelt: der Thermoplastschaumguss. Der Schmelze wird das Treibmittel im Zylinder unter hohem Druck zugeführt und die Masse in die Werkzeugform gespritzt. Das Treibmittel gast dort aus. Da die Polymermasse aber an die Formteilmwand gepresst wird, entsteht nach Abkühlung ein Werkstoff mit einer unterschiedlichen Dichteverteilung. TSG-Bauteile haben eine feste und kompakte Außenstruktur und ein geschäumtes Inneres. Wanddicken zwischen 4 und 30 Millimetern sind üblich. Der Thermoplastschaumguss kann auf jeder konventionellen Spritzgussmaschine durchgeführt werden. Die Einspritzdrücke sind im Vergleich zum konventionellen Spritzgießen erheblich niedriger, was den Thermoplastschaumguss zu einer preiswerten Fertigungstechnologie selbst für kleine und mittlere Stückzahlen macht.

**Anwendung:** Die Palette der Schaumstoffprodukte ist groß. Styropor und PS-Hartschaum sind wegen ihrer wärmedämmenden und schallisolierenden Eigenschaften insbesondere im Baugewerbe beliebt und finden als Wergwerfgeschirr Verwendung. Preiswerte Styroporkugeln und -formteile sind aus dem Verpackungsbereich gar nicht mehr wegzudenken. Weich-elastische PUR-Schaumstoffe werden vorzugsweise für Polsterungen im Möbelbereich verwendet, finden Einsatz in Kissen oder Autositzen oder sind uns allen als Küchenschwammtücher bekannt. Offenzellige Schaumstoffe eignen sich insbesondere zur Schallabsorption. Weiche PU-Integralschaumstoffe werden bei der Herstellung von Sport- und Turnschuhen verwendet und begegnen uns als flexible Lenkradumhüllung oder als Kopfstütze im Fahrzeuginnen. Harte PUR-Schäume sind insbesondere als Isoliermaterial in der Anwendung. Außerdem können sie Leichtbaukonstruktionen im Fahrzeug- und Flugzeugbau stabilisieren. Typische Verwendungsbeispiele für Formteile aus Schaumstoffen sind Stoßfängerkerne, Sonnenblenden oder Sportartikel. TSG-Bauteile kommen für die Einhausung elektrischer Geräte in Frage.

**Verarbeitung:** Harte Schaumstoffplatten lassen sich problemlos mit allen aus der Metall- oder Holzbearbeitung bekannten Verfahren zerspanen (Sägen, Fräsen, Drehen). Die Oberflächen können mit hohem Abtrag geschliffen werden. Für den Zugschnitt von Styroporplatten stehen außerdem Thermosägen zur Verfügung. Weiche Polymerschäume werden entweder mit dem Cutter oder einer Schere zugeschnitten. Zum Kleben von Styropor wurden spezielle Styroporkleber entwickelt. Auch doppelseitige Klebefolie kann Verwendung finden. Für weiche Schaumstoffe eignen sich Kontaktklebstoffe. Zwei-Komponentensysteme auf Epoxid- und Polyurethanbasis kommen vor allem bei Hartschaumstoffen zur Anwendung. Das Färben von Schaumstoffen ist durch einfaches Tauchen in Farbmittel möglich.

**Lieferformen:** Schaumstoffe sind in vielen Abmaßen als Plattenmaterial mit den unterschiedlichsten Durchmesser erhältlich. Thermoplastische Schaumstoffe weisen eine Dichte zwischen 12-300 g/cm<sup>3</sup> auf. Die Kombination hoher Steifigkeit mit geringer Dichte wird bei Sandwichplatten genutzt. Diese im Ausstellungs- und Werbebereich verwendeten Verbundmaterialien (z.B. KAPA Line, KAPA Mount) sind meist aus Polyurethanschaum, der mit einer Papier- oder Kartonlage kaschiert wird. Dadurch entstehen überaus leichte und großflächige Papierformate mit hoher Steifigkeit.



PS-Hartschaumplatten



Thermosäge Styrocut

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbund-  
werkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und  
Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeits-  
schutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinself

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

# Faserverstärkte Kunststoffe

- Allgemeines
- Kunststoff Gummi**
- Verbundwerkstoffe
- Holz Kork
- Papier Pappe Karton
- Metall
- Textilien Leder Kunstleder
- Bänder Ketten Schläuche
- Klein- und Formteile
- Zeichnen Grafik Büro
- Werkzeug Arbeitsschutz
- Klebstoff Klebeband
- Formen Abformen Gießen
- Farben Chemie Pinsel
- Basteln Werken Floristik
- Deko Display Event
- Modellbau
- Möbel Licht Systeme
- Behälter Taschen Verpackung
- Bücher Magazine Medien
- Karten Spielzeug Accessoires
- Anhang



„Flossis“ am Roggendorf-Haus im Düsseldorfer Medienhafen, GFK glasfaserverstärkter Kunststoff, Künstlerin: rosalie (Stuttgart)



„Carbon Pumps“ – futuristischer Damenschuh, CFK kohlefaserverstärkter Kunststoff, Design: Peter Naumann

## Kosten der Faserwerkstoffe im Vergleich:

Material	Preis
Glas	2-3 €/kg
Aramid	20-30 €/kg
Kohlenstoff (Standard)	20-80 €/kg
Kohlenstoff (Spezialtypen)	100-1000 €/kg

Um Kunststoffe in ihrem Eigenschaftsprofil zu beeinflussen, hat sich neben der Möglichkeit zur Beimischung von Additiven und Weichmachern vor allem der Zusatz von Fasermaterialien bewährt. Die mechanischen Qualitäten werden verbessert, Härte, Steifigkeit, Wärmeformstabilität, elektrische Leitfähigkeit, chemische Beständigkeit und Abriebverhalten nachhaltig gesteigert. Faserverstärkte Kunststoffe sind also extrem stabil, haben ein geringes Gewicht und sind leicht zu verarbeiten. Sie eignen sich daher für Bauteile im Flug- und Fahrzeugbau ebenso wie für Sportgeräte und Sturzhelme. Kamen beim Stabhochsprung in der Mitte des 20. Jahrhunderts noch Stäbe aus Bambus oder Holz zum Einsatz, wurden Sprünge über die 6-Meter Marke erst durch Sportgeräte aus glasfaserverstärktem Epoxidharz (GFK) möglich. Ein weiteres typisches Beispiel sind besonders leichte Fahrradrahmen aus mit Kohlenstofffasern verstärktem Kunststoff (CFK), die im Profiradsport den Metall-Drahtesel vollkommen ersetzt haben. Der Massenanteil von CFK-Strukturen beim neuen Flugzeug A 380 wird bei 22 % liegen. Und auch Michael Schumacher hatte bei seinem letzten Weltmeistertitel ein Lenkrad aus faserverstärktem Kunststoff in der Hand.

**Eigenschaften:** Die charakteristischen Merkmale polymerer Werkstoffe werden mit Faserzusätzen nahezu ideal auf den Anwendungsfall eingestellt. Neben der Faserart sind Länge und Form der Fasern entscheidende Kriterien für die Veränderung des Eigenschaftsprofils. Außerdem hat die Ausrichtung des Fasermaterials Einfluss auf die mechanische Belastbarkeit. In Faserrichtung fallen die Festigkeitswerte höher aus als quer dazu.

Als Fasermaterialien haben in der Polymerindustrie insbesondere Glas-, Aramid- und Kohlenstofffasern große Bedeutung. Unter Umweltgesichtspunkten sind in den letzten Jahren auch zahlreiche Anwendungen mit Naturfasern hinzugekommen. Wegen der niedrigen Werkstoffkosten sind Glasfasern die wichtigsten Verstärkungsmaterialien für Kunststoffe. Sie weisen mit 2400 bis 3500 N/mm<sup>2</sup> hohe Zugfestigkeiten auf, sind chemisch und thermisch beständig und gut zu verarbeiten. Mit Glasfasern verstärkte Polyester weisen beispielsweise Dauergebrauchstemperaturen zwischen -100 und +155 °C auf.

Aramidfasern haben bei einer Dichte von 1,45 g/cm<sup>3</sup> ähnliche Festigkeitswerte wie Glasfasern, sind aber 10 Mal teurer. Sie kommen insbesondere dann zur Anwendung, wenn schlagzähe Eigenschaften benötigt werden.

Kohlenstofffasern bieten unter allen möglichen Zusätzen die besten Qualitäten. Sie sind bis zu Temperaturen von etwa 4000 °C beständig, was sie für Anwendungen in Luft- und Raumfahrt besonders geeignet macht. Auffallend ist die hohe Zugfestigkeit, die bei Spezialtypen bis zu 4700 N/mm<sup>2</sup> betragen kann.

Zu den für die Kunststoffverstärkung verwendbaren Naturfasern zählen Flachs, Hanf, Jute, Sisal und Ramie. Sie haben im Vergleich zu Glas-, Aramid- und Kohlenstofffasern Festigkeitsnachteile, sind aber leichter zu entsorgen, haben ein geringeres Gewicht und wirken wärmedämmend und schallisierend.

## Einflüsse von Füll- und Faserzusätzen

	Textilglas	Asbest	Wollastonit	C-Fasern	Whiskers	Synthesefasern	Cellulose	Glimmer	Talkum	Grafit	Sand-/Quarzpulver	Silika	Kaolin	Glaskugeln	Kaliumkarbonat	Metalloxide	Ruß
Zugfestigkeit	++	+		+	+-			+						+			
Druckfestigkeit	+								+		+			+	+		
E-Module	+++	+++	+++	+++	+			++	+		+	+		+	+	+	+
Schlagzähigkeit	+-	-	-	-	-	++		+-	-		-	-	-	-	+-	-	+
reduzierte Schwindung	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
bessere Wärmeleitfähigkeit		+	+	+					+	+	+	+			+		+
bessere Wärmestandfestigkeit	++	+	+	++				+	+				+		+	+	
elektrische Leitfähigkeit				+						+							+
elektrischer Widerstand			+					++	+			+	++			+	
Wärmebeständigkeit			+					+	+		+	+	+			+	+
chemische Beständigkeit		+	+					+	+				+	+			
besseres Abriebverhalten				+				+	+	+			+				
Extrusionsgeschwindigkeit	+-	+						+					+		+		
reduzierte thermische Ausdehnung	+	+		+				+	+		+	+	+			+	

Tabelle nach H. Saechtling, K. Oberbach „Kunststoff Taschenbuch“, Carl Hanser Verlag, 2001

**Anwendung:** Die Verwendungsgebiete faserverstärkter Kunststoffe sind vielfältig. Oftmals haben sie die traditionell zur Anwendung kommenden metallischen Werkstoffe ersetzt. Dies kann man vor allem im Fahrzeugbau feststellen. Durch die knappen werdenden Energieressourcen ist man gezwungen, den Treibstoffverbrauch von Kraftfahrzeugen erheblich zu senken. Leichtbaukonstruktionen werden hierzu entwickelt, die zu einem großen Teil aus faserverstärkten Bauteilen zusammengesetzt werden. Die guten Isolationseigenschaften machen glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) zudem besonders für die Elektroindustrie interessant. Im Freizeitbereich sind uns GFK-Profile als Zeltstangen, Segellatten oder Drachengestänge bekannt. Kohlenstofffasern haben sich für Bauteile mit hohen thermischen und mechanischen Anforderungen bewährt. Die hohen Festigkeiten werden im Bootsbau, bei Rotorblättern oder Sportartikeln wie z. B. Golfschlägern besonders geschätzt. Aramidfasern kommen auf Grund ihrer hohen Schlagzähigkeit zum Beispiel bei schussicheren Westen zum Einsatz. Außerdem sind bruch sichere Cockpitfenster aus aramidfaserverstärkten Kunststoffen (RFK).

**Verarbeitung:** Die Verarbeitung des Fasermaterials richtet sich vor allem nach Länge und Form des vorliegenden Materials. Kurzfasern werden der Polymermasse einfach zugesetzt und im Spritzguss oder durch Extrusion verarbeitet. Für Langfasern mit einer Länge von 5-25 mm eignet sich das Fließpressen. Endlosfasern und Rovings (gleichgerichtete Faserstränge) werden üblicherweise in einer Endlos-Produktionstechnik wie dem „Pultrusionsverfahren“ zu Bauteilen und Profilen mit Wanddicken von 1-30 mm verarbeitet. In dem Prozess durchläuft der Faserstrang zunächst ein Harz-Bad, wird dann im beheizten Werkzeug in Form gebracht und härtet schließlich infolge der duroplastischen Vernetzung des Kunststoffs zum Profil

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbund-  
werkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und  
Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeits-  
schutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinself

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

# Faserverstärkte Kunststoffe

Allgemeines

Kunststoff  
GummiVerbund-  
werkstoffeHolz  
KorkPapier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
KunstlederBänder  
Ketten  
SchläucheKlein- und  
FormteileZeichnen  
Grafik  
BüroWerkzeug  
Arbeits-  
schutzKlebstoff  
KlebebandFormen  
Abformen  
GießenFarben  
Chemie  
PinselfBasteln  
Werken  
FloristikDeko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
SystemeBehälter  
Taschen  
VerpackungBücher  
Magazine  
MedienKarten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang

aus. Durch Einsatz von Wickelrobotern kann das Verfahren auch zur effizienten Herstellung rotationssymmetrischer und hochfester Bauteile wie Rohre oder Tanks verwendet werden. Es ist dann unter der Bezeichnung „Nasswickeln“ bekannt. Für die Anfertigung von Bootsrümpfen können Fasermatten, -geflechte oder -gewebe durch Handlaminieren sehr einfach verarbeitet werden. Das Fasermaterial wird zunächst in einem Harzbad getränkt und anschließend händisch angedrückt. Der Vorteil flächiger Verbundstrukturen ist, dass Belastungen in allen Richtungen aufgenommen werden. Sie eignen sich daher für hoch belastete Bauteile. Für die Massenproduktion von Profilen werden Fasermatten und Faservliesen automatisch laminiert.

Die Bearbeitung faserverstärkter Profile ist mit den üblichen zerspanenden Verfahren möglich und ähnelt der Metall- oder Holzbearbeitung. Für das Bohren von GFK-Profilen bis zu einem Bohrdurchmesser von 12 mm eignet sich ein einfacher Hartmetallbohrer. Größere Löcher sollten mit einem diamantbesetzten Bohrer gebohrt werden. Zur Erzielung höherer Schnittgeschwindigkeiten beim Sägen und Fräsen werden diamantbesetzte Sägeblätter (Schnittgeschwindigkeit 1800–3600 m/min) sowie Hartmetall- und Diamantfräser empfohlen. Da faserverstärkte Profile schlechte Wärmeleiter sind, ist ein Kühlmittleinsatz ratsam. Für das Drehen von GFK reicht die Standardausstattung aus der Metallverarbeitung. Die Schnittgeschwindigkeit sollte wie bei der Verarbeitung von Messing oder Aluminium gewählt werden. Stanzen lassen sich glasfaserverstärkte Kunststoffprofile mit Materialdicken von bis zu 10 mm mit Werkzeugen aus gehärtetem Stahl. Zum Kleben faserverstärkter GfK-Profile eignen sich Klebstoffsysteme auf Polyurethan- oder Epoxidharzbasis. Selbstschneidende Schrauben sind für die Anbringung von Verschraubungen geeignet. Zusätzlicher Klebstoffeintrag erhöht die Verbundfestigkeit.

**Lieferformen:** Die unterschiedlichen Fasermaterialien sind in Form von Rovings, Vliesen, Matten, Geweben, Gelegen, Geflechten und als Lang- und Endlosfasern erhältlich. Kurzfasern haben eine Länge von bis zu 5 mm und sind in den für die Weiterverarbeitung erhältlichen Kunststoffmassen in der Regel schon zugesetzt. Faserverstärkte Profile werden in vielen Varianten vertrieben. Rohre und Stäbe aus glasfaserverstärktem Kunststoff sind im Modellbau beliebt.

## Kurzzeichen der wichtigsten Kunststoffe

### Thermoplaste

Polystyrole (PS)

- Acrylnitril-Butadien-Styrol-Polymere (ABS)
- Styrol-Acrylnitril-Polymere (SAN)
- Acrylnitril-Styrol-Acrylester-Polymere (ASA)
- Schlagfestes Polystyrol (SB)

Polyolefine

- Polypropylen (PP)
- Polyethylen (PE)
  - Polyethylen, low density (PE-LD)
  - Polyethylen, medium density (PE-MD)
  - Polyethylen, high density (PE-HD)
  - Polyethylen, vernetzt (PE-X)

Polyester

- Polyethylenterephthalat (PET)
- Polybutylenterephthalat (PBT)

Ethylenvinylacetat (EVA)

Polycarbonat (PC)

Polyvinylchlorid (PVC)

- hartes Polyvinylchlorid (PVC-U, unplasticized)
- weiches Polyvinylchlorid (PVC-P, plasticized)

Polyurethan (PUR)

Polymethylmethacrylat (PMMA)

Polyoxymethylen (POM)

Polyamid (PA)

Fluorpolymere

- Polytetrafluorethylen (PTFE)
- Perfluorethylenpropylen (FEP)

Zelluloseester

- Zelluloseacetat (CA)
- Zelluloseetriacetat (CTA)

### Duroplaste

Epoxidharz (EP)

Phenolharz (PF)

Polyesterharz, ungesättigt (UP)

Melaminharz

### Elastomere

Naturkautschuk (NR)

Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR)

Chloropren-Kautschuk (CR)

Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR)

Thermoplastische Elastomere (TPE)

Silikon-Kautschuk

### Faserverstärkte Kunststoffe

Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK)

Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK)

Aramidfaserverstärkte Kunststoffe (RFK)

Allgemeines

Kunststoff  
Gummi

Verbund-  
werkstoffe

Holz  
Kork

Papier  
Pappe  
Karton

Metall

Textilien  
Leder  
Kunstleder

Bänder  
Ketten  
Schläuche

Klein- und  
Formteile

Zeichnen  
Grafik  
Büro

Werkzeug  
Arbeits-  
schutz

Klebstoff  
Klebeband

Formen  
Abformen  
Gießen

Farben  
Chemie  
Pinsel

Basteln  
Werken  
Floristik

Deko  
Display  
Event

Modellbau

Möbel  
Licht  
Systeme

Behälter  
Taschen  
Verpackung

Bücher  
Magazine  
Medien

Karten  
Spielzeug  
Accessoires

Anhang