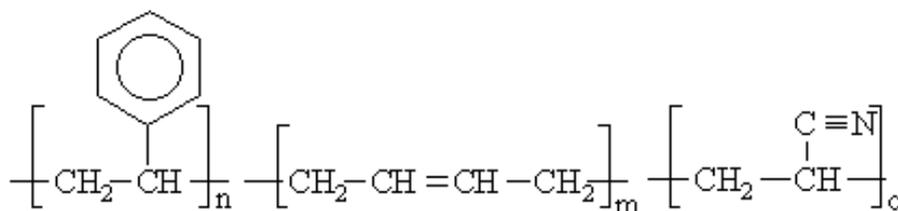
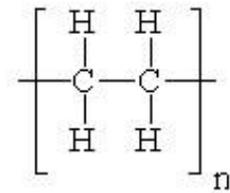
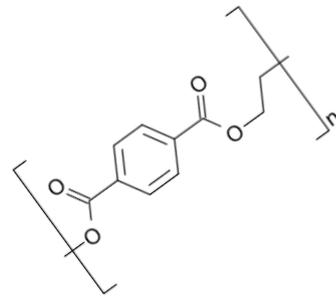


# Kunststoff - Brennprobe

Bestimmen von 12 thermoplastischen  
Kunststoffen mit Hilfe von:  
Feuerzeug und unseren 5 Sinnen

- Polyethylen **LDPE**
- Polyethylen **HDPE**
- Polypropylen **PP**
- Polystyrol **PS**
- Polyoximethylen **POM**
- Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer **ABS**
- Polymethylmethacrylat **PMMA**
- Polyvinylchlorid **PVC**
- Polyamid **PA**
- Polyester **PET**
- Polycarbonat **PC**
- Polyurethane **TPU**



Magic Science  
Urs Gfeller  
Thunstrasse 80  
CH-3400 Burgdorf

079 315 40 45  
www.magicscience.ch  
info@magicscience.ch

### In Zusammenarbeit mit:



Prof. Dr. Kramer  
Leiter MAS Kunststofftechnik

### Entwicklungspartner:



### Produktionspartner:



### Weitere Unterstützung durch:

- Aareplast AG
- Bützer AG
- Eastman AG
- Fischer Söhne AG
- Jansen AG
- Lambrecht AG
- Pfister Werkzeugbau AG
- Röhm Schweiz AG
- Säntis Packaging AG
- Semadeni AG
- Wild & Küpfer AG

## Inhalte

1	Was sind Kunststoffe? .....	1
2	Strukturen .....	2
3	Zusatzstoffe .....	3
4	Eigenschaften .....	4
5	Verarbeitungsverfahren .....	5
6	Low Density Polyethylen LDPE .....	8
7	High Density Polyethylen HDPE .....	9
8	Polypropylen PP .....	10
9	Polystyrol PS .....	11
10	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer ABS .....	12
11	Polyoximethylen POM .....	13
12	Polymethylmethacrylat PMMA, Plexiglas® .....	14
13	Polyvinylchlorid PVC .....	15
14	Polyamid PA .....	16
15	Polyester PET .....	17
16	Polycarbonat PC .....	18
17	Polyurethan TPU .....	19
18	Anwendungen in der Übersicht .....	20
19	Weitere wichtige Kunststoffe .....	21
20	Brennprobe .....	22

# 1 Was sind Kunststoffe?

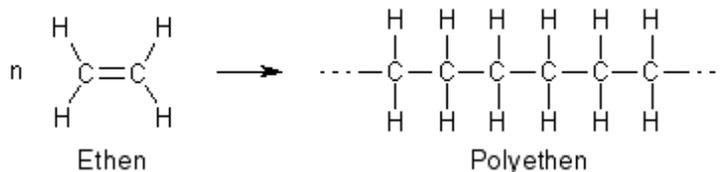
Kunststoffe sind im weitesten Sinn Werkstoffe die aus Makromolekülen aufgebaut sind und durch Umwandlung von Naturprodukten oder durch Synthese von Primärstoffen aus Erdöl, Erdgas oder Kohle entstehen.

Als organische Stoffe bestehen Kunststoffe vorwiegend aus den Elementen **Kohlenstoff C** und **Wasserstoff H**. Oft beinhalten sie auch die Elemente Stickstoff N, Chlor Cl, Fluor F oder Schwefel. Eine besondere Gruppe, die Silikone, bauen ihr Molekülgerüst aus dem Element Silizium Si, statt Kohlenstoff auf.

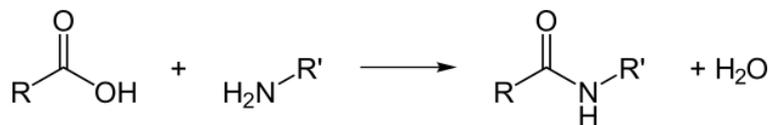
Als **Makromoleküle** bestehen Kunststoffe aus sehr grossen Molekülen in denen mehrere hundert bis tausend Atome durch Hauptvalenzen miteinander verbunden sind. Meist enthalten sie gleiche oder gleichartige Grundmoleküle, **Momomere**, (monos = gleich, meros = Teil), die in vielfacher Wiederholung (Polymerisierungsgrad) zu Makromolekülen, **Polymeren**, (poly = viel), vereinigt sind.

Die als Kunststoffe verwendeten Polymere haben im Allgemeinen einen Polymerisationsgrad von mehreren tausend Monomeren. Polymere erhält man synthetisch durch drei Hauptverfahren:

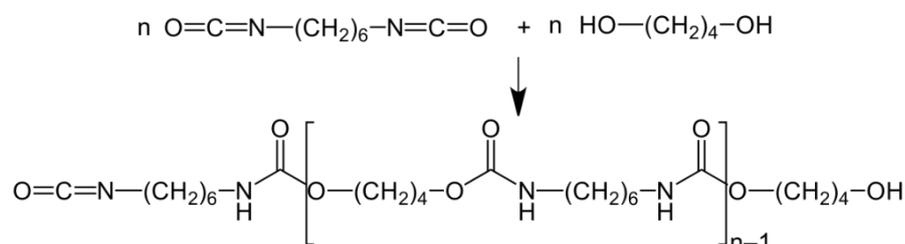
- die **Polymerisation** z.B. Polyethylen, Polystyrol, Polyvinylchlorid



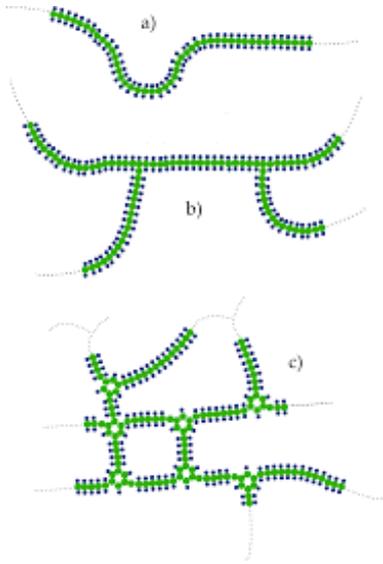
- die **Polykondensation** z.B. Polyester, Polyamid



die **Polyaddition** z.B. Polyurethane



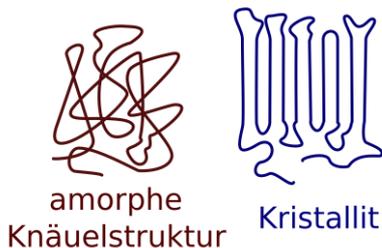
## 2 Strukturen



Die Makromoleküle können unterschiedliche Strukturen aufweisen. Oft findet man Mischformen der folgenden Varianten:

- a) **lineare** Form
- b) **verzweigte** Form
- c) **zwei- oder dreidimensional verknüpfte** (vernetzte) Form

Bei der linearen Form können die Makromoleküle noch unterschiedlich untereinander gelagert sein.



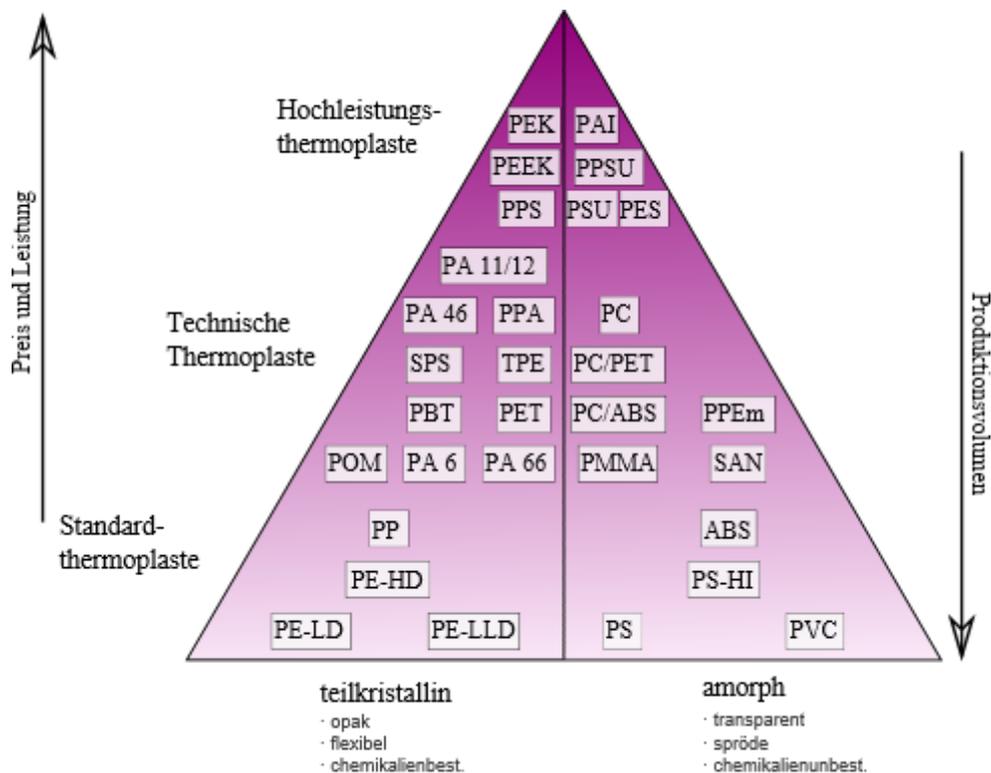
- a) In völliger Unordnung wie ein Wattebausch. Die Anordnung nennt man **amorph**
- b) Liegen die Molekülketten teilweise parallel zueinander angeordnet, nennt man das **teilkristallin**. Hier wechseln sich geordnete und ungeordnete Phasen ab.

Teilkristalline Kunststoffe sind meistens nicht klar transparent sondern opak, weil sich das Licht an den kristallinen Bereichen bricht. Dafür sind sie wärmebeständiger als rein amorphe Kunststoffe.

Kunststoffe mit unverknüpften, linearen oder verzweigten Makromolekülen sind plastisch formbar. Durch Erwärmen lassen sie sich in den plastischen Zustand bringen und formen. Man nennt sie **Thermoplaste**.

Kunststoffe mit räumlich vernetzten Makromolekülen sind nicht mehr plastisch verformbar. Sie bilden ein starres unlösbares Netz und sind ein riesiges Molekül. Beim Erwärmen behalten sie ihren Zustand bis zur irreversiblen Zersetzung. Man nennt sie deshalb **Duroplaste**.

Sind die Makromoleküle nur weitmaschig vernetzt, spricht man von **Elastomeren**. Hier lassen sich die Moleküle durch Krafteinwirkung bewegen (Gummiband), verhalten sich durch Erwärmung aber wie ein Duroplast.



### 3 Zusatzstoffe

Die Kunststoffe genügen in ihren Grundformen oft nicht den gewünschten Anforderungen. Durch beimischen von Zusatzstoffen, können die Eigenschaften angepasst werden.

Um hartes PVC geschmeidig zu machen, werden ihm oft **Weichmacher** beigesetzt. Eine dafür verwendete Produktgruppe sind Phthalsäureester wie z.B. Diethylhexylphthalat (DEHP). Da diese Produkte einen negativen Einfluss auf Mensch und Umwelt haben können, werden heute zunehmend Weichmacher auf Basis von Zitronensäureester eingesetzt.

Um die Gleiteigenschaften von PE- oder PP Folien zu verbessern, werden der Formmasse bei der Verarbeitung **Gleitmittel** beigegeben. Es können dies mineralische Stoffe wie Kalziumkarbonat (Kalk) oder Siliziumoxid sein oder auch Fettsäureamide wie Oelsäure- oder Erucasäureamide.

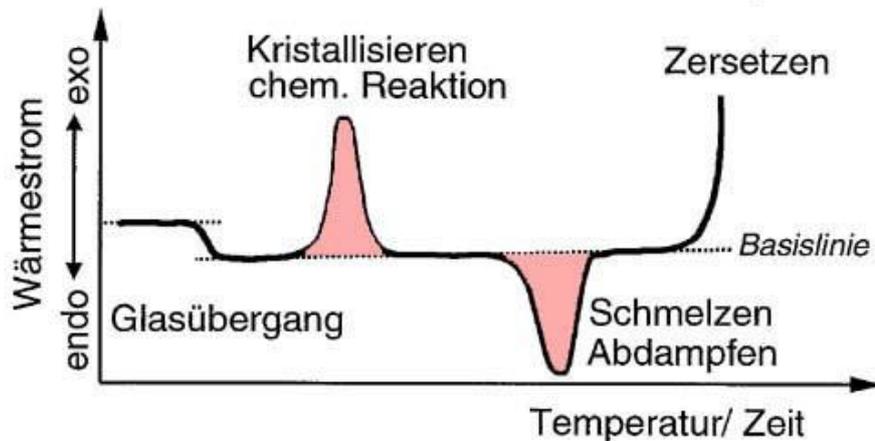
Um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern werden den Kunststoffen auch **Verstärkungstoffe** wie Glasfasen, Glaskugeln, Talkum und andere beigegeben.

Damit Kunststoffe bei der Verarbeitung stabil bleiben oder beim späteren Einsatz nicht durch Wärme, Licht, Chemikalien oder Pilze abgebaut werden, können **Stabilisatoren** beigegeben werden.

Selbstverständlich können die meisten Kunststoffe auch mit geeigneten **Farbpigmenten** eingefärbt werden. Oft wird dafür ein Masterbatch eingesetzt – Ein Grundmaterial das den Farbstoff in hoher Konzentration enthält.

## 4 Eigenschaften

Die Makromoleküle, die aus den Grundbausteinen (Monomeren) durch **Polymerisation, Polykondensation oder Polyaddition** zu langen Molekülketten aufgebaut werden, sind unterschiedlich lang. Die einzelnen Ketten können tausende bis viele hunderttausend Grundbausteine enthalten. Das Molekulargewicht ist, im Gegensatz zu anorganischen Salzen, bei jedem einzelnen Makromolekül etwas anders. Das physikalische Verhalten beim Erwärmen eines Kunststoffes zeigt deshalb keinen scharfen Schmelzpunkt.



Das obige Diagramm zeigt einen typischen Verlauf der Energieaufnahme oder Energieabgabe eines Kunststoffes bei der kontinuierlichen Erwärmung.

Bei der **Glasübergangstemperatur** werden die Bindungen zwischen den Molekülketten soweit gelöst, dass der Kunststoff gummiartig (thermoelastisch) wird. Dazu braucht es Energie, d.h. es ist ein endothermer Vorgang.

Bei der weiteren Erwärmung der Probe können sich die Makromoleküle soweit bewegen, dass sich **teilkristalline Bereiche** bilden. Bei diesem Vorgang wird Energie frei. Es ist ein exothermer Vorgang.

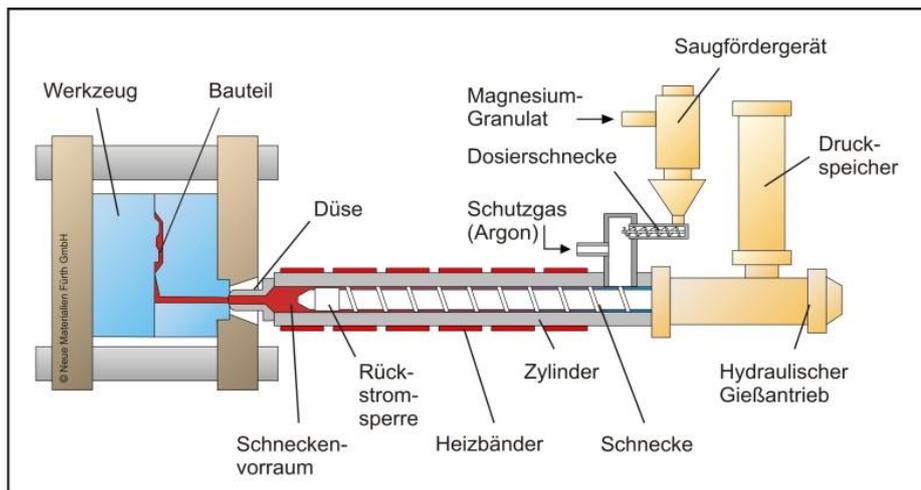
Bei noch höherer Temperatur werden die kristallinen Strukturen und die Zwischenmolekularen-Bindungskräfte der Molekülketten untereinander weiter gelöst. Der Kunststoff (Thermoplaste) geht in eine **Schmelze** über. Es ist dies ein endothermer Vorgang. Ist die Temperatur hoch genug, fängt der Kunststoff an sich zu zersetzen. Die Molekülketten zerfallen in kürzere Stücke.

- Polystyrol PS oder amorphes Polyester PETG zeigen keinen Peak für eine Kristallisation.
- Kristallines PET hingegen zeigt ein klares Kristallisationsverhalten beim Erwärmen.
- Duroplaste zeigen weder ein Kristallisations- noch ein Schmelzverhalten. Ihre Makromoleküle sind räumlich über starke Valenzbindungen vernetzt. Bei hoher Temperatur zersetzen sie sich direkt.

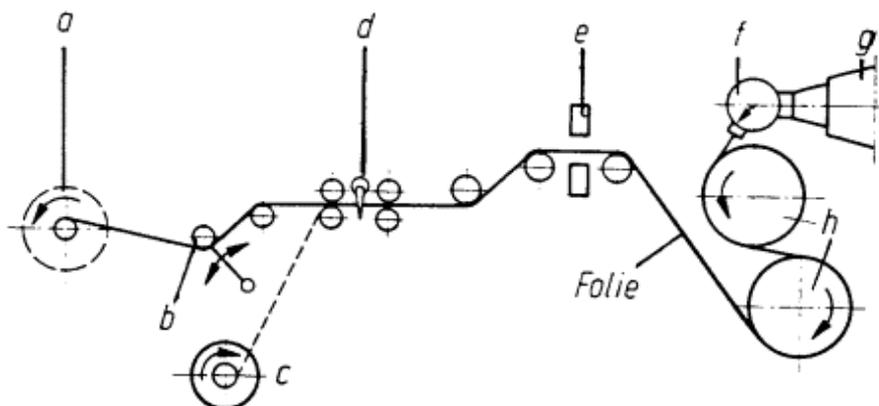
## 5 Verarbeitungsverfahren

### Thermoplaste

Die wichtigsten Umformverfahren für Thermoplaste (LDPE, HDPE, PP, PA, PET, PMMA, PS, PC, POM, usw.) sind das Spritzgießen, das Extrudieren, die Blasfolienextrusion und das Blasformen.

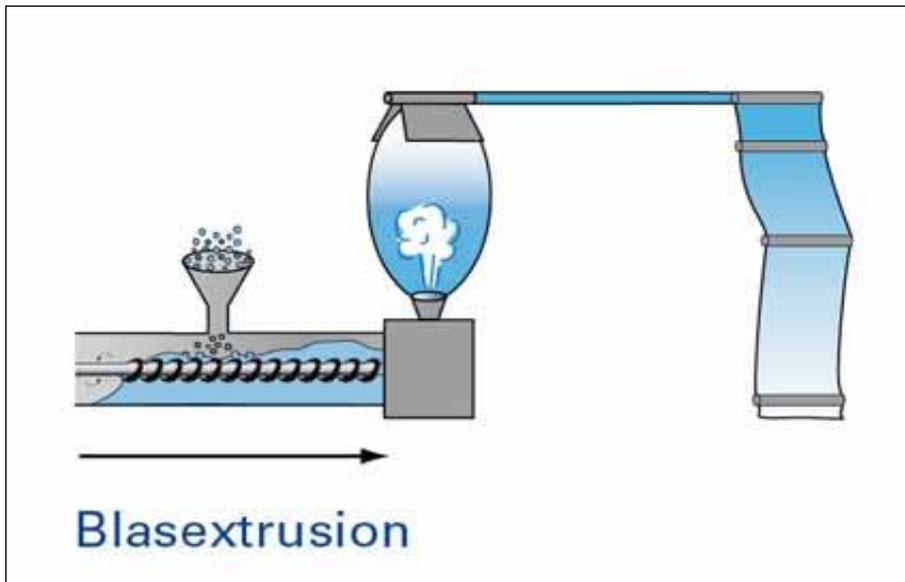


Beim **Spritzgießen** wird die Formmasse in einer Plastifiziereinheit (Schnecke) aufgeschmolzen, taktweise gefördert und in ein Formwerkzeug eingespritzt.

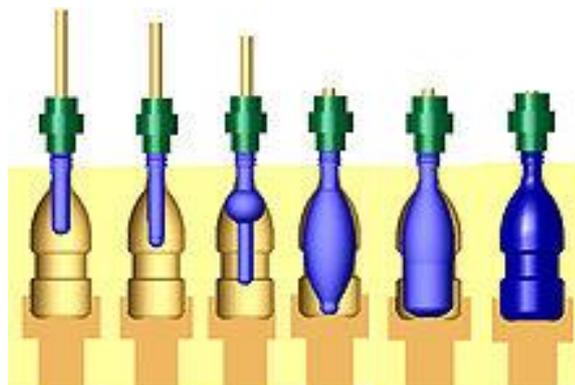


a Folienaufwicklung, b Tänzerwalze, c Abfallaufwicklung, d Randbeschneidung, e Dickenmessung, f Breitschlitzdüse, g Extruder, h Kühlwalzen

Beim **Flachfolien-Extrudieren** (Chill Roll Verfahren) wird die in einem Extruder aufgeschmolzene Formmasse kontinuierlich über eine Breitschlitzdüse auf eine gekühlte Stahlwalze gegossen.



Bei der **Blasfolienextrusion** wird die Formmasse in einem Extruder aufgeschmolzen und kontinuierlich in ein ringförmiges Werkzeug gefördert. Der Schlauch wird aufgeblasen, oben flachgelegt, kontinuierlich über zwei Walzen abgezogen und aufgerollt.



Beim **Streckblasformen** (z.B. Flaschen) werden sogenannte Rohlinge, welche im Spritzgussverfahren hergestellt wurden, in Formen unter Druck und Wärme aufgeblasen.

## **Duroplaste**

Härtbare Formmassen werden in unvernetztem Zustand in zweiteiliges Werkzeuge gegeben. Nach dem Verschluss des Formwerkzeugs wird die Masse unter Wärmezufuhr ausgehärtet. Dieses Formgebungsverfahren heisst Pressen und kann in unterschiedlichen Verfahrenstechniken durchgeführt werden (Formpressen, Spritzpressen, Schichtpressen). Zunehmend werden Duroplaste auch im Spritzgiessverfahren verarbeitet.

## Weitere Umformungsverfahren

### **Biegeformen<sup>1</sup>:**

Durch Abkanten und Biegen werden die Kunststoffe in ihrer Form verändert. Wird oft verwendet bei der Herstellung von Kunststoffgehäusen.

### **Druckformen<sup>2</sup>:**

Kunststoffteile und Folien können mittels Prägestempel, unter Wärmeeinwirkung und Druck, Sujets aufgebracht werden.

### **Zug-Druck-Umformen<sup>3</sup>:**

Beim Tiefziehen werden Folien erwärmt und mithilfe von Druck, Vakuum und z.T. mech. Tiefziehhilfen in eine Form gepresst.



1

2

3

Bei den **Fügeverfahren** werden Kunststoffe durch **Schweissen** (Wärme) oder mit **Klebstoffen** miteinander verbunden. Insbesondere die Klebetechniken sind heute weit fortgeschritten. So werden im Flugzeug- und Fahrzeugbau (z.B. Boeing 787) oft Klebeverbindungen bevorzugt verwendet (Gewicht, Festigkeit)

## 6 Low Density Polyethylen LDPE



**Thermoplast** (Polymerisation)

**Dichte:** LDPE<sup>1)</sup> 0.92 - 0.94 g/cm<sup>3</sup>, low density, stark verzweigt  
LLDPE<sup>2)</sup> 0.87 - 0.94 g/cm<sup>3</sup>, linear low density, kurze Seitenketten  
1) Hochdruckverfahren 2) Niederdruckverfahren

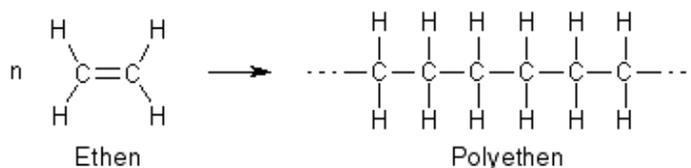
**Äussere Merkmale:** Bei dünnen Wandstärken (Folien) durchscheinend (teilkristallin), weich, wachsartig im Griff, mit Fingernagel ritzbar, Zahnabücke gut sichtbar, kaltbiegsam, Gebrauchstemperatur ohne Belastung bis 70°C.

**Andere Versuche:** Bei Raumtemperatur stabil gegen praktisch alle Lösungsmittel (Ausnahmen sind halogenierte und aromatische Kohlenwasserstoffe), beständig gegen Laugen, nicht oxidierende Säuren und Öl. Schweissbar.

**Brennprobe:** Helle gelbe Flamme mit blauem Kern, tropft brennend ab, brennt nach dem Entfernen der Zündquelle weiter, aus der Schmelze lassen sich Fäden ziehen, der Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme nach Kerzenwachs (Paraffin).

**Verarbeitungsverfahren:** Extrudieren zu Profilen und Rohren, Spritzgiessen Blasfolienextrusion, Sintern, Schäumen, Beschichten.

**Anwendungsbeispiele:** Eimer, Schüsseln, Tragetaschen, Folien für Lebensmittelverpackungen, Verbundfolien, Schrumpffolien, Abdeckfolien.



## 7 High Density Polyethlen HDPE



**Thermoplast** (Polymerisation)

**Dichte:** HDPE<sup>1)</sup> 0.94 - 0.97 g/cm<sup>3</sup>, high density, schwach verzweigt, kurze Seitenketten. <sup>1)</sup> Niederdruckverfahren

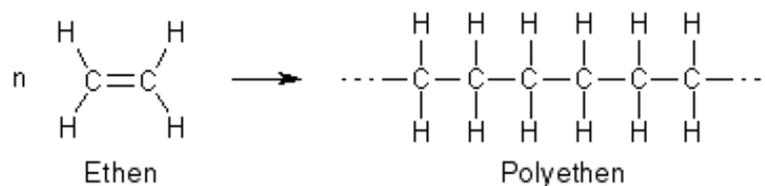
**Äussere Merkmale:** Opak (teilkristallin), wachstartig im Griff, härter und steifer als LDPE, kaltbiegsam, Gebrauchstemperatur ohne Belastung bis 90°C.

**Andere Versuche:** Bei Raumtemperatur gut beständig gegen die meisten Lösungsmittel, Laugen, nicht oxidierende Säuren, und Öl. Schweissbar.

**Brennprobe:** Wie LDPE, helle Flamme mit blauem Kern, tropft brennend ab, brennt nach dem Entfernen der Zündquelle weiter, aus der Schmelze lassen sich Fäden ziehen, der Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme nach Paraffin (Kerze).

**Verarbeitungsverfahren:** Extrudieren zu Profilen und Rohren, Blasfolienextrusion, Streckblasformen, Spritzgossen, Sintern, Schäumen, Beschichten.

**Anwendungsbeispiele:** Flaschen für Reinigungsmittel, PE-Beutel, Skibeläge, Abdeckfolien für Maler, Lagertanks, Mülltonnen, Rohre, Flaschenkästen.



## 8 Polypropylen PP



**Thermoplast** (Polymerisation)

**Dichte:** 0.90 - 0.91 g/cm<sup>3</sup>

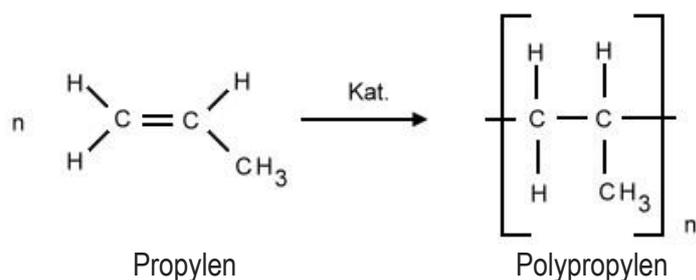
**Äussere Merkmale:** Durchscheinend bis hochtransparent (abhängig von der Struktur des PP), wachsartig im Griff, härter und steifer als HDPE (Homopolymere), kaltbiegsam, Gebrauchstemperatur ohne Belastung bis 100°C.

**Andere Versuche:** Bei Raumtemperatur mit keinem Lösungsmittel anzulösen, beständig gegen Laugen, Säuren und Öl, schweisbar

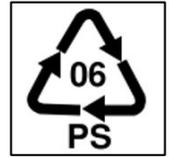
**Brennprobe:** Wie LDPE und HDPE, helle Flamme mit blauem Kern, tropft brennend ab, brennt nach dem Entfernen der Zündquelle weiter, aus der Schmelze lassen sich Fäden ziehen, der Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme nach Paraffin (Kerze).

**Verarbeitungsverfahren:** Extrudieren zu Profilen und Rohren, Faserspinnen, Blasfolienextrusion, Streckblasformen, Spritzgiessen, Sintern, Schäumen.

**Anwendungsbeispiele:** Als dünne biaxial orientierte Folien (z.T. aufgeschäumt opak) für Lebensmittelverpackungen, Koffer, Rohre, modifizierte PP für viele Teile im Automobilbau, Teppichgewebe, Seile, technische Fasern.



## 9 Polystyrol PS



**Thermoplast** (Polymerisation)

**Dichte:** 1.04 – 1.05 g/m<sup>3</sup>

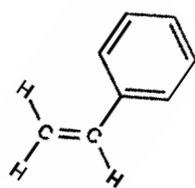
**Äussere Merkmale:** Brillant und transparent (amorph), klingt beim Fallenlassen wie Blech, bricht beim Biegen, Gebrauchstemperatur ohne Belastung bis 70°C

**Brennprobe:** Gelbe/orange, flackernde und leuchtende Flamme, stark russend, brennt nach dem Entfernen der Zündquelle weiter, verkohlte Schmelze, der Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme süsslich (nach Styrol, Joghurtbecher).

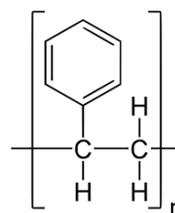
**Andere Versuche:** Benzin, Aceton und andere Lösungsmittel lösen schnell an, beständig gegen Laugen, Säuren und Öl, klebbar

**Verarbeitungsverfahren:** Hauptsächlich Spritzgiessen, Extrusion zu Folien, Profilen und Platten, Warmformung möglich.

**Anwendungsbeispiele:** Einweggeschirr, Becher, Wäscheklammern, Folien zum Tiefziehen von Verpackungen, Isolationsplatten.

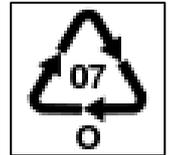


Styrol



Polystyrol

## 10 Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer ABS



**Thermoplast** (Co-Polymerisation)

**Dichte:** 1.06 – 1.12 g/m<sup>3</sup>

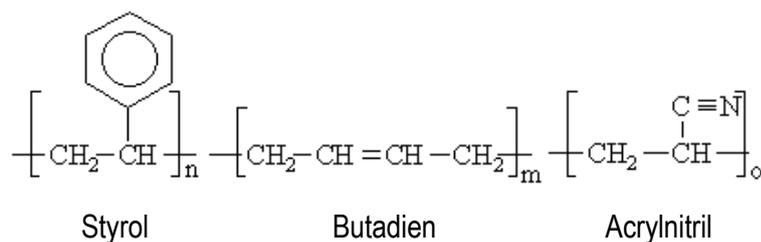
**Äussere Merkmale:** Durchsichtig bis opak, hohe Schlagzähigkeit, tönt dumpf beim Fallenlassen, Weissbruch beim Biegen, bricht nicht, zäh-elastisch, Gebrauchstemperatur ohne Belastung bis 80°C.

**Brennprobe:** Wie PS, brennt flackernd, gelb leuchtende Flamme, brennt nach dem Entfernen der Zündquelle weiter, stark russend, Schmelze tropft kaum ab und verkohlt, der Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme süsslich nach Styrol.

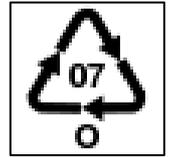
**Andere Versuche:** Wie PS, Benzin, Aceton und andere Lösungsmittel lösen schnell an, beständig gegen Laugen, Säuren und Öl, klebbar

**Verarbeitungsverfahren:** Kalandrieren, Extrudieren, Spritzgiessen, Extrusionsblasformen.

**Anwendungsbeispiele:** Gehäuse für Radio, TV und Telefone, Schutzhelme, Tafeln zum Tiefziehen und Warmformen von Karosserieteilen und Geschirr.



# 11 Polyoximethylen POM



**Thermoplast** (Polymerisation)

**Dichte:** 1.39 – 1.42 g/m<sup>3</sup>

**Äussere Merkmale:** Hohe Festigkeit, Steifheit, Härte, Abriebfestigkeit und Wärmeformbeständigkeit, gut gleitend, wärmebeständig bis 130°C, hohe Kristallinität, dadurch weiss opak.

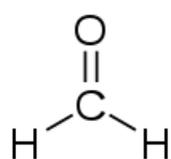
**Brennprobe:** Brennt rauchlos, reine blaue ruhige Flamme (kaum sichtbar), brennt nach dem Entfernen der Zündquelle weiter, Schmelze tropft brennend ab und verkohlt, der Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme aggressiv und reizend nach Formaldehyd.

**ACHTUNG:** Dämpfe sind giftig!

**Andere Versuche:** Ohne Oberflächenbehandlung mit Flamme oder Phosphorsäure nur bedingt verklebbar.

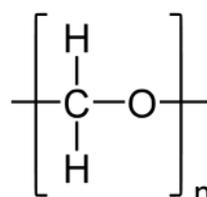
**Verarbeitungsverfahren:** Hauptsächlich Spritzgiessen und Extrusion. Spanabhebend verarbeitbar.

**Anwendungsbeispiele:** Zahnräder, Pumpengehäuse, Reissverschluss, Schrauben, Gerätegehäuse, Beschläge, Scharniere, Vorhangstangengleiter



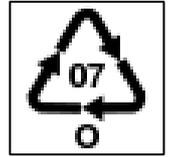
Formaldehyd

→



Polyoximethylen

## 12 Polymethylmethacrylat PMMA, Plexiglas®



**Thermoplast** (Polymerisation)

**Dichte:** 1.18 – 1.23 g/m<sup>3</sup>

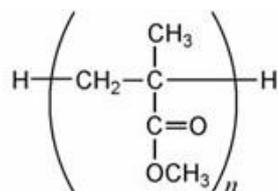
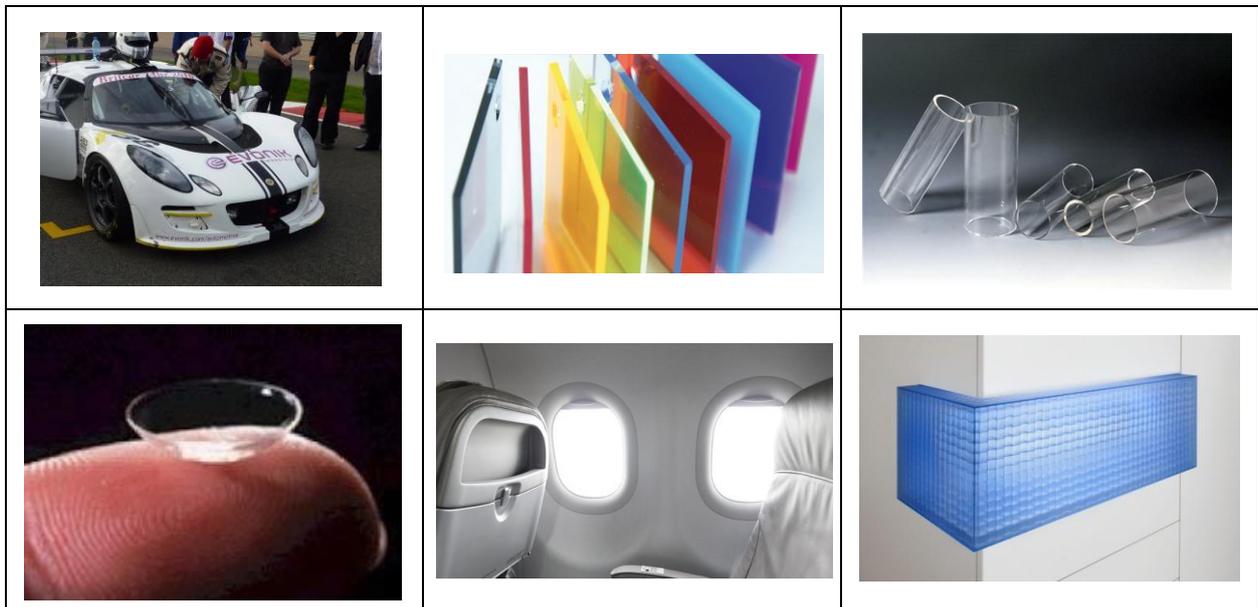
**Äussere Merkmale:** Acrylglas (auch bekannt unter dem Markennamen «Plexiglas») mit hochglänzender Oberfläche, bietet eine unverzerrte Durchsicht, hart und steif, Gebrauchstemperatur ohne Belastung bis 100°C.

**Brennprobe:** Brennt flackernd, gelb leuchtende Flamme, brennt nach dem Entfernen der Zündquelle weiter, der Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme süsslich und fruchtartig.

**Andere Versuche:** Beständig gegen Fette und schwache Laugen, klebbar mit Spezialklebstoff. Anfällig auf Spannungsrisse.

**Verarbeitungsverfahren:** Extrudieren, Spritzgiessen, Warmformen

**Anwendungsbeispiele:** Aus Tafeln warmgeformte Badewannen, Leuchtkörper, Fahrzeugverglasung, schusssichere Verglasung, Uhrenläser, Linsen, Rücklichter.



Polymethylmethacrylat

# 13 Polyvinylchlorid PVC



**Thermoplast** (Polymerisation)

**Dichte:** 1.38 – 1.40 g/m<sup>3</sup>

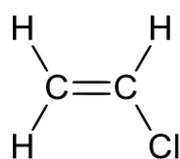
**Äussere Merkmale:** Reines PVC ist klar durchsichtig, hart und steif, in der Kälte spröde, beim Knicken bleibt ein weisser Strich (Weissbruch), klingt bei Fallenlassen hart aber nicht blechern, wird oft mit Additiven versehen (Weich-PVC mit Phtalatsäureestern oder zunehmend mit Zitronensäureestern), Gebrauchstemperatur ohne Belastung bis 65°C.

**Brennprobe:** gelbe Flamme, russend, erlischt nach entfernen der Zündquelle, der Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme stechend nach Salzsäure. **ACHTUNG:** Dämpfe sind giftig!

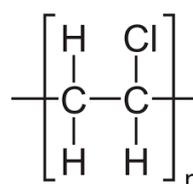
**Andere Versuche:** PVC ist in z.B. in Tetrahydrofuran löslich, Aceton und Ester lösen PVC an, beständig gegen Laugen, Säuren, Öl und Benzin, schweisbar, klebbar.

**Verarbeitungsverfahren:** Kalandrieren, Extrudieren, Spritzgiessen, Extrusionsblasformen.

**Anwendungsbeispiele:** Rohre, Ummantelung von Drähten, Profile (z.B. Fensterrahmen), Rolladen, kalandrierte Folien zum Tiefziehen, Infusionsbeutel (mit Weichmacher).

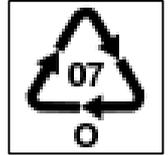


Vinylchlorid



Polyvinylchlorid

# 14 Polyamid PA



**Thermoplast** (Polykondensation)

**Dichte:** 1.04 – 1.15 g/m<sup>3</sup>

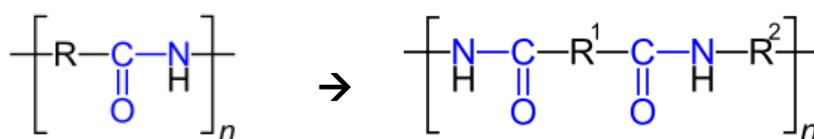
**Äussere Merkmale:** Milchig-weiss bis gelblich, zähelastisch, unzerbrechlich, es gibt verschiedene PA-Typen (PA 6, PA6,6, PA11, PA12, u.a.) je nach Monomeren, Polyamide können bis 10% Wasser aufnehmen,

**Brennprobe:** Brennt bläulich mit gelben Rand, Schmelze schäumend, knisternd abtropfend, fadenziehend, kann nach dem Entfernen der Zündquelle weiterbrennen, der Rauch riecht nach dem Erlöschen nach verbranntem Horn.

**Andere Versuche:** löst sich in Ameisensäure, beständig gegen Öl, Benzin, Ester, Ketone, nicht säurebeständig, klebbar.

**Verarbeitungsverfahren:** Spritzgiessen, Extrudieren, Sintern, Faserspinnen.

**Anwendungsbeispiele:** Gleitlager, Zahnräder, Schrauben, Benzinleitungen, Lagertanks, Angelschnüre, Teppich, chirurgisches Nähmaterial, Überzüge, textile und technische Fasern, Kleider.



R=C<sub>5</sub> = PA 6  
R=C<sub>10</sub> = PA 11

R<sup>1</sup> = C<sub>4</sub>, R<sup>2</sup> = C<sub>6</sub> = PA 6.6  
R<sup>1</sup> = C<sub>8</sub>, R<sup>2</sup> = C<sub>6</sub> = PA 6.10

# 15 Polyester PET



**Thermoplast** (Polykondensation)

**Dichte:** CPET: 1.38 – 1.40 g/cm<sup>3</sup> (kristallines PET)

APET: 1.33 – 1.35 g/cm<sup>3</sup> (amorphes PET)

Durch Zugabe von Co-Monomeren kann amorphes APET hergestellt werden. Unter Zugabe von Nucleierungsmittel erhält man kristallines und temperaturbeständigeres CPET.

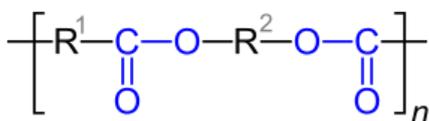
**Äussere Merkmale:** APET ist hoch transparent, CPET weiss und brüchig

**Brennprobe:** Brennt leicht, gelbe Flamme, Schmelze tropft brennend und flackernd ab, die Flamme erzeugt einen weissen Rauch, der Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme süsslich aromatisch.

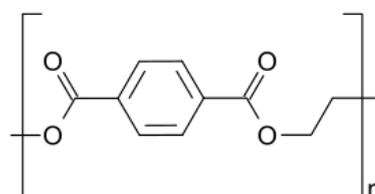
**Andere Versuche:** Unbeständig gegen starke Säuren, als Fasern hohe Festigkeit

**Verarbeitungsverfahren:** Extrusion von Flachfolien und Blasfolien (im Coextrusionsverfahren können die äusseren Schichten verschweissbare, amorphe Copolyester enthalten), Spritzguss, Faserspinnen.

**Anwendungsbeispiele:** Textilfasern, extrudierte Folien zum Tiefziehen, biaxial orientierte Folien für Verpackungsverbundfolien, metallisierte Folien, Flaschen, Becher, Kondensatorfolien, Fotofilme, CPET für erhitzbare Schalen für Fertigmahlzeiten.



allgemeine Formel



Ethylenglycol und Teraphthalsäure

# 16 Polycarbonat PC



**Thermoplast** (Polykondensation)

**Dichte:** 1.20 – 1.24 g/cm<sup>3</sup>

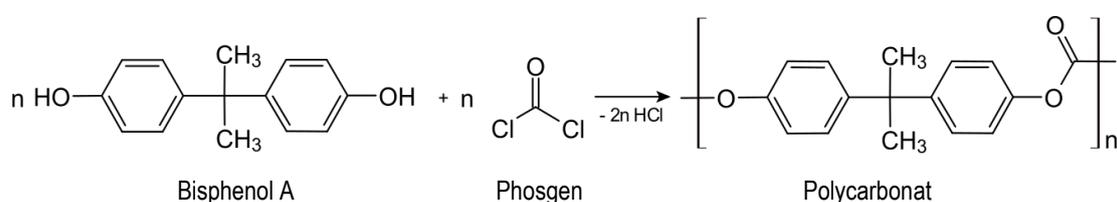
**Äussere Merkmale:** Transparent (amorph), hart und zäh, sehr gute Schlagfestigkeit, scheppert, Gebrauchstemperatur von -140°C bis +135°C

**Brennprobe:** Flackernde gelb orange Flamme, erlischt zögerlich nach dem Entfernen der Zündquelle, leicht russend, Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme nach Phenol, Schmelze verkohlt.

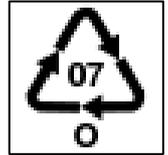
**Andere Versuche:** Relativ gute Chemikalienbeständigkeit, schlechte UV Beständigkeit, klebbar, US-schweisbar, anfällig auf Spannungsrisse.

**Verarbeitungsverfahren:** Spritzgiessen, Extrudieren.

**Anwendungsbeispiele:** CD's, Brillengläser, Visiere, Unterwassergehäuse für Kameras, Verglasungen, Campinggeschirr, Gehäuse für medizinische Instrumente (z.B. Insulinpumpe).



# 17 Polyurethan TPU



**Thermoplast** (Polyaddition von Isocyanaten mit Diolen (z.B. Hexandiol) oder Polyolen (z.B. Polyester und Polyether))

**Dichte:** 1.15 – 1.25 g/cm<sup>3</sup>

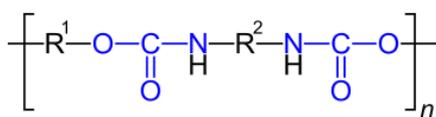
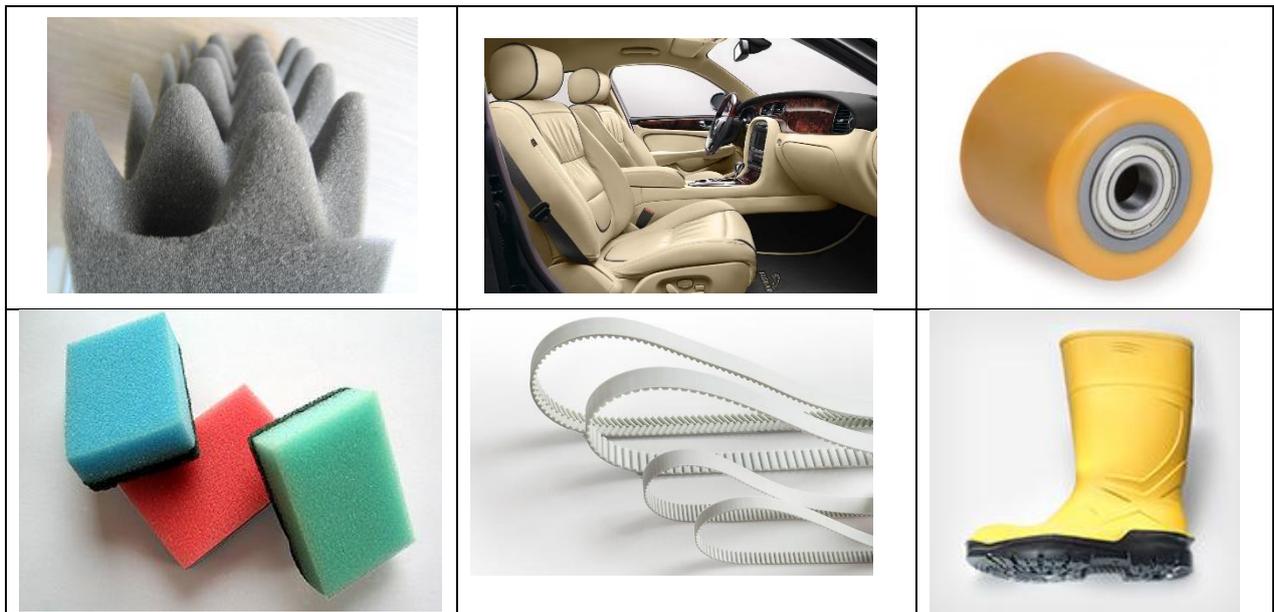
**Äussere Merkmale:** Opak, elastisch, gummiartig, sehr gute Flexibilität, keine Weichmacher, Gebrauchstemperatur von -30°C bis +80°C

**Brennprobe:** Brennt leuchtend, tropft brennend ab, Schmelze schäumt russig schwarz, Rauch riecht nach dem Erlöschen der Flamme stechend nach Isocyanat.

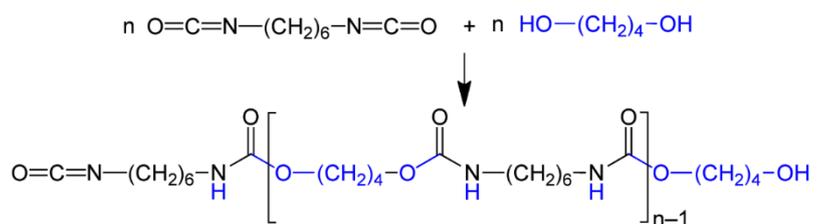
**Andere Versuche:** Gut witterungsbeständig, verschleissfest, relativ gute Öl- und Fettbeständigkeit, nicht beständig gegenüber Heisswasser (Dampf), Säuren und Laugen, klebbar, schweisbar.

**Verarbeitungsverfahren:** Spritzgiessen, Extrudieren, Kalandrieren, Sintern.

**Anwendungsbeispiele:** Schmelzklebefolien (z.B. Automobilindustrie), Handyhüllen, Rolle, Dichtlippen, Schäume (z.B. Matratzen), Dämmstoffe, Textilfasern, Fussbälle, Skischuhe, Kondome, Sohlen



allgemeine Formel



1,6-Hexandiisocyanats mit 1,4-Butandiol (n ≈ 40)

## 18 Anwendungen in der Übersicht

Kurzz.	Name	Anwendungen
LDPE	Low Density Polyethylen	Müllsäcke, Schrumpffolie, Stretchfolie, Kaschierfolie.
HDPE	High Density Polyethylen	Kanister, Rohre, Fässer, dünne Folien (Knistersäcke).
PP	Polypropylen	Biaxial orientierte Folien in der Verpackung, Rohre, Seile, Teppiche, Packbänder.
PS	Polystyrol	Geschäumt als Dämmstoff, tiefgezogene Folien als Verpackung z.B. Joghurtbecher, Einweggeschirr
ABS	Acryl-Butadien-Styrol-Copolymer	Lego-Bausteine, Schutzhelme, Auto-Scheinwerfer, Gehäuse von Elektrogeräten, Mundstücke von Saxophon.
POM	Polyoximethylen	Zahnräder, Ventile, Schrauben, Vorhanggleiter, Steckverbindungen, Scharniere, Rollen, Reissverschlüsse.
PMMA	Polymethylmethacrylat	Blinker, Verglasungen z.B. <b>Plexiglas</b> , Knochenzement, Uhrengläser.
PVC	Polyvinylchlorid	Elektrohröhre, Fensterrahmen, Drahtisolierung, Kunstleder, geschäumte Platten. Mit Weichmacher als Infusionsbeutel.
PA	Polyamid	Fasern z.B. <b>Nylon</b> , Bekleidung, Fallschirme, Seile, Angelschnüre, Kabelbinder, Dübel, Zahnbürsten.
PET	Polyethylenterephthalat, Polyester	Flaschen, Faser, Folien, Filme, Klebebänder
PC	Polycarbonat	z.B. <b>Makrolon</b> , CD's, Brillengläser, Flugzeugverglasungen, Solarpaneele, Helmvisiere.
TPU	Polyurethan	Schäume für Matratzen und Polster, Abdichtmassen, Elasthanfasern z.B. <b>Lycra</b> , Klebstoffe, Lacke, Folien

## 19 Weitere wichtige Kunststoffe

Kurzz.	Name	Anwendungen
ASA	Acrylester-Styrol-Acrylnitril	Hochtemperaturbeständig Anwendungen, Kaffeemaschinen, Mikrowellengeräte, Surfbretter
BR	Butadien-Kautschuk	Mit Schwefel vulkanisiert in Autoreifen
CA	Celluloseacetat	<b>Kunstseide</b> , Kleider, Zigarettenfilter
CR	Chloropren-Kautschuk	Aufgeschäumt als <b>Neopren</b> bekannt
EP	Epoxiharz	Klebstoff, Giessharz für Boote und Modellbau, Leiterplatten
PAN	Polyacrylnitril	Textilfasern
PEEK	Polyetheretherketon	Sehr hohe Wärmebeständigkeit, Medizintechnik, Anlagebau, Tennissaiten
PF	Phenolharz	Bekannt als <b>Bakelit</b> , Gerätebau
PI	Polyimid	Sehr hohe Wärmebeständigkeit, Heissluftfilter, Elektrotechnik
PTFE	Polytetrafluorethylen	Bekannt als <b>Teflon</b> , extrem gute Chemikalienbeständigkeit, Chemieanlagebau, Beschichtungen
PVA	Polyvinylalkohol	Wasserlöslicher Kleber in Haarspray und Klebstoffen, gute Sauerstoffbarriere in coextrudierten Folien und Flaschen, wasserlösliche Verpackungsfolie
SI	Silikone	Silikonöle- und Fette, Silikonelastomere mit hoher Wärmebeständigkeit (z.B. Backformen, Eiswürfelforme), Silikonfugen, Brustimplantate

## 20 Brennprobe

Die Brennprobe ist eine zerstörende Werkstoffprüfung. Dazu erhitzt man eine kleine Kunststoffprobe in einer kleinen Flamme (z.B. Feuerzeug). Dabei werden die langen Polymerketten gespalten und es entstehen Zersetzungsprodukte bis hin zu den ursprünglichen Bausteinen des Kunststoffes, den Monomeren.

Die am wichtigsten zu beobachtenden Kriterien sind:

- Kann der Kunststoff entflammt werden?
- Brennt die Flamme weiter oder erlischt sie?
- Welche Farbe hat die Flamme?  
(von fast farblos über blau, gelb bis orange)
- Welche Eigenschaften hat die Flamme?  
(ruhig, flackernd, knisternd)
- Wie sieht die Schmelze aus?  
(transparent, russig, schäumend, tropfend)
- Wie sieht der Rauch aus?  
(kaum Rauch, weiss, russend)
- Nach was riecht der Rauch nach dem Erlöschen der Flamme?  
(sauer, aggressiv, fruchtig, nach Kerze, Styrol, Formaldehyd, Isocyanat, nach verbranntem Haar)

### Sicherheitsmassnahmen:



Schutzbrille tragen



Alufolie oder eine nasse Zeitung als Unterlage schützt vor brennend abtropfenden Kunststoffen.



Im Abzug oder in gut gelüfteten Räumen arbeiten.

### **Achtung:**

**Dämpfe nie direkt einatmen. Immer mit der Hand zur Nase fächern!**

**PVC** und **POM** ergeben beim Verbrennen **giftige Dämpfe** von Chlorwasserstoff und Formaldehyd.

Kunststoffe	Kurzzeichen	POM	ABS	PS	PP	HDPE	LDPE
<b>Dichte</b> [g/cm <sup>3</sup> ]	1.40	1.09	1.04	0.90	0.95	0.93	
<b>Wärmebeständigkeit</b> [°C]	130	80	70	100	90	70	
<b>Optisch</b> <b>Taktil</b> <b>Akustisch</b>	kristallin, weiss opak, hart, gut gleitend	durchsichtig, zäh- elastisch, dumpf, Weissbruch beim Biegen, <u>bricht</u> <u>nicht</u>	transparent, blechern, <u>bricht</u> beim Biegen	durchscheinend, etwas steifer und <u>härter als HDPE</u>	undurchsichtig, <u>weisslich</u> , Zahnabdrücke leicht sichtbar	durchscheinend, <u>weich</u> , lässt sich mit Nagel ritzen, Zahnabdrücke	
<b>Flamme</b> <b>Schmelze</b> (Z = Zündquelle)	schwach blaue, <u>ruhige Flamme</u> , tropft brennend ab, brennt ohne Z weiter	wie PS	gelb/orange, leicht flackernd, brennt ohne Z weiter, tropft kaum, verkohlte Schmelze	wie LDPE	wie LDPE	gelb mit blauem Kern, brennt ohne Z weiter, tropft brennend ab, klare Schmelze, zieht Fäden	
<b>Rauch</b> beim Brennen	kein Rauch	<u>stark russend</u>	<u>stark russend</u>	kein Rauch	kein Rauch	kein Rauch	
<b>Geruch</b> nach dem Erlöschen	reizend, <u>Formaldehyd</u> <b>GIFTIG!</b>	wie PS	süsslich, <u>Styrol</u> , <u>Jogurtbecher</u>	Paraffin, <u>Kerze</u>	Paraffin, <u>Kerze</u>	Paraffin, <u>Kerze</u>	

Kunststoffe	Kurzzeichen	PC	PET	PA	PVC	PMMA	TPU
<b>Dichte</b> [g/cm <sup>3</sup> ]	1.22	1.35	1.08	1.39	1.20	1.20	1.20
<b>Wärmebeständigkeit</b> [°C]	135	70	90	65	100	80	
<b>Optisch</b> <b>Taktil</b> <b>Akustisch</b>	transparent, hart, zäh, gute Schlagfestigkeit, scheppert, bricht nicht beim Biegen	APET= amorph, transparent, CPET=kristallin, undurchsichtig	milchig, zäh- elastisch, unzerbrechlich,	durchsichtig, hart, steif, spröde in der Kälte, Weissbruch, Weissbruch beim enthalten Weichmacher	transparent, hart, steif, hochglänzend, unverzerrt, Weissbruch beim Biegen, <u>bricht</u> <u>nicht</u>	Transparent bis opak, elastisch, <u>gummiartig</u>	
<b>Flamme</b> <b>Schmelze</b> (Z = Zündquelle)	gelb, flackernd, <u>erlischt zögerlich</u> <u>ohne Z,</u> Schmelze verkohlt	<u>brennt leicht mit</u> <u>gelber flackender</u> <u>Flamme,</u> Schmelze tropft brennend ab und verkohlt, brennt ohne Z weiter	brennt bläulich mit gelben Rand ohne Z weiter, <u>Schmelze</u> <u>schäumt, tropft</u> knisternd ab, zieht Fäden	gelb, russend, <u>erlischt ohne</u> <u>Zündquelle</u>	gelb, flackernd, brennt ohne Z weiter, <u>Schmelze</u> <u>schäumt und</u> <u>verkohlt</u>	Schwer anzündbar, brennt leuchtend, Schmelze schäumt und tropft russig ab	
<b>Rauch</b> beim Brennen	leicht russend	weiss	wenig weisser Rauch	stark russend	kein Rauch	weisser Rauch	
<b>Geruch</b> nach dem Erlöschen	<u>riecht angenehm</u> <u>nach Phenol</u>	<u>süßlich,</u> <u>aromatisch</u>	<u>verbranntes</u> <u>Horn, Haar</u>	<u>stechend nach</u> <u>Salzsäure,</u> <b><u>GIFTIG!</u></b>	<u>süßlich,</u> <u>fruchtartig</u>	unangenehm, stechend, <u>Isocyanat</u>	





[www.magicscience.ch](http://www.magicscience.ch)