

Kunststoffe

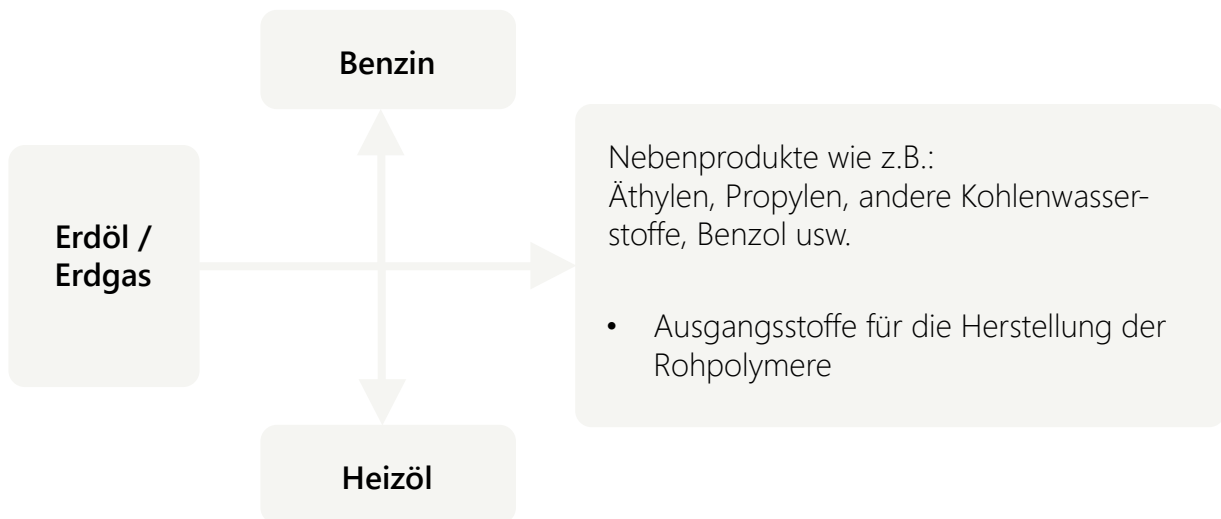
Kurze Einführung

TECHNISCHE DOKUMENTATION

1. Vom Rohstoff zum Kunststoff

Der Rohstoff zum Herstellen von Kunststoffen ist Erdöl oder Erdgas. Durch verschiedene Crackprozesse entstehen Benzin, Heizöl und diverse

Nebenprodukte wie z.B. Äthylen, Propylen und andere Kohlenwasserstoffe sowie Benzol.

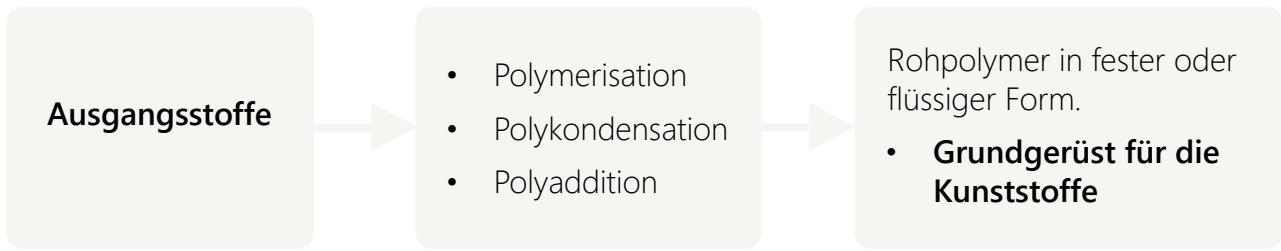


Diese **Nebenprodukte** sind die Ausgangsstoffe für die Herstellung der Rohpolymere.

Durch die drei Reaktionsarten

- Polymerisation
- Polykondensation
- Polyaddition

entsteht das sogenannte **Rohpolymer** in fester oder flüssiger Form. Dieses Rohpolymer ist das Grundgerüst für die Kunststoffe.



Durch die Einarbeitung diverser Zusätze entsteht ein verarbeitungsfähiger Kunststoff (oft als „Werkstoff“ bezeichnet).

2. Der Aufbau der Kunststoffe

Kunststoffe bestehen aus Makromolekülen. Die Makromoleküle lassen sich in der Modellschauung als ketten- bzw. fadenartige Gebilde

erklären, die auch unter einem normalen Mikroskop nicht sichtbar sind. Diese Makromoleküle können linear oder verzweigt ausgebildet sein.

Lineare Makromoleküle:

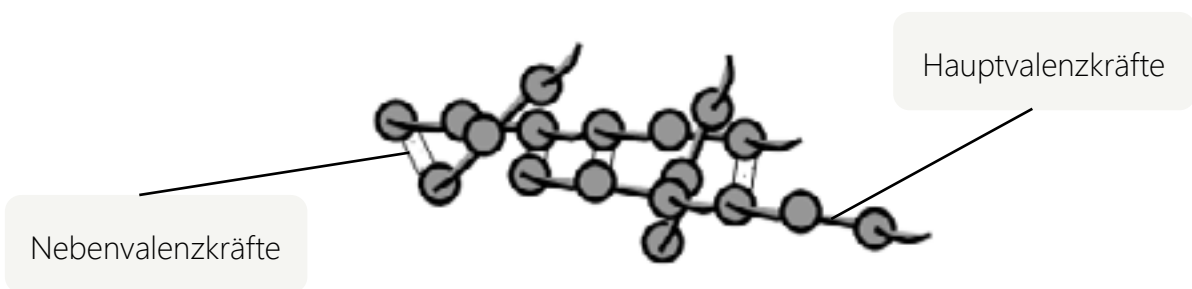


Verzweigte Makromoleküle:



Der Zusammenhalt der Makromoleküle geschieht durch **Bindungskräfte**, den sogenannten Valenzkräften. Dabei unterscheiden wir zwischen

den **Hauptvalenzkräften (Atombindungen)** und den **Nebervalenzkräften**.



Die Wirkungsweise der Valenzkräfte wird später in diesem Kapitel erläutert.

3. Die drei Hauptgruppen der Kunststoffe

Die Kunststoffe werden in drei Hauptbereiche unterteilt:

- Thermoplaste
- Elastomere
- Duroplaste

3.1. Thermoplaste

Bei den Thermoplasten sind die einzelnen Molekülketten untereinander **nicht vernetzt** (keine Atombindungen).



Sie werden durch die Nebervalenzkräfte gegenseitig angezogen. Diese Kräfte sind um so höher, je näher die einzelnen Moleküle zusammen rücken. Ebenfalls treten bei Verbindungen mit ungleichen Atomen (polare Makromoleküle) sogenannte

Dipolkräfte auf, die die physikalischen und thermischen Eigenschaften beeinflussen.

Thermoplaste sind schmelzbar und plastisch formbar.

3.2. Elastomere

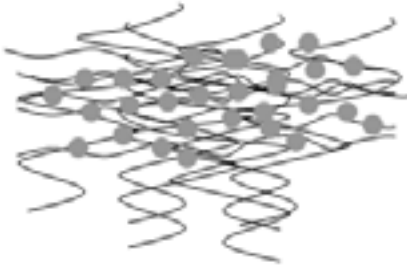
Bei den Elastomeren sind die einzelnen Molekülketten untereinander schwach vernetzt, d.h. die Molekülketten sind weitmaschig untereinander vernetzt.

Elastomere sind durch ihre schwache Vernetzung nicht schmelzbar, jedoch elastisch formbar.



3.3. Duroplaste

Bei den Duroplasten sind die einzelnen Molekülketten untereinander **stark vernetzt**, d.h. die Molekülketten sind engmaschig untereinander vernetzt.

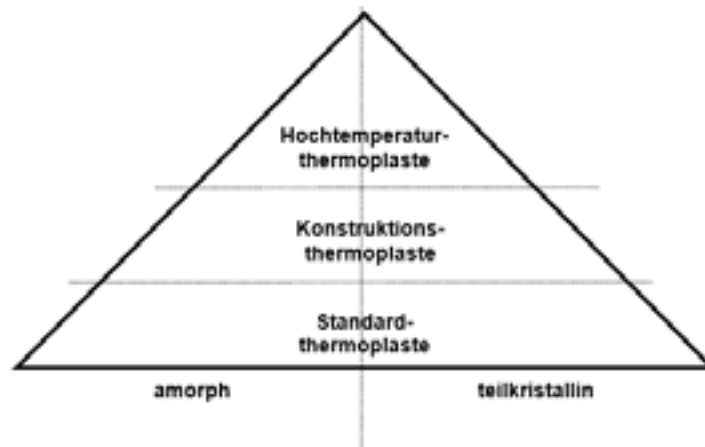


Duroplaste sind nicht schmelzbar und nicht formbar.

4. Thermoplaste

Der Bereich der Thermoplaste umfasst eine ganze Anzahl von Typen. Um eine gewisse Ordnung reinzubringen, hat man die Thermoplaste nach verschiedenen Gesichtspunkten, wie z.B. nach der Dauergebrauchstemperatur oder nach der Struktur (amorph oder teilkristallin), unterteilt.

Einen guten Überblick über die Vielfalt der Thermoplaste ist die „Pyramide der Thermoplaste“ (siehe dazu den entsprechenden Abschnitt). Die Einteilung erfolgt wie unten dargestellt:



4.1. Einteilung nach dem Ordnungszustand der Molekülketten

Bei den Thermoplasten unterscheidet man zwischen der amorphen und der teilkristallinen Struktur.

Bei der amorphen Struktur sind die Molekülketten völlig ungeordnet und ineinander verschlungen.

Amorphe Thermoplaste sind meistens transluzent bis glasklar, sie sind relativ spröde und spannungsrissempfindlich.

Bei der teilkristallinen Struktur liegen die Molekülketten teilweise in einer bestimmten Ordnung vor.

In der kristallinen Struktur liegen die Moleküle sehr eng beieinander und daher wirken auch die Nebervalenzkräfte stärker. Dies wirkt sich wiederum positiv auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften aus. Die teilkristallinen Thermoplaste zeigen ein zähhartes Verhalten und lassen sich im allgemeinen gut spanabhebend bearbeiten.



4.2. Einteilung nach der Dauergebrauchstemperatur

Hochtemperaturthermoplaste:

Hochtemperatur- oder Hochleistungskunststoffe haben eine Dauergebrauchstemperatur über 150°C. Sie haben eine sehr hohe thermisch mechanische Beständigkeit und eine gute chemische Beständigkeit.

Konstruktionsthermoplaste:

Bei den Konstruktionsthermoplasten liegt die Dauergebrauchstemperatur zwischen 90°C und 150°C. Diese Thermoplaste werden sehr häufig in verschiedensten technischen Anwendungen eingesetzt.

Standardthermoplaste:

Die Dauergebrauchstemperatur liegt unter 90°C. Diese Gruppe gehört zu den Massenkunststoffen und kommt dort zur Anwendung, wo weniger hohe thermisch-mechanische Eigenschaften gefordert werden.

4.3. Füllstoffe / Zusatzstoffe / Verstärkungsstoffe

Füllstoffe wie z.B. Holzmehl, Gesteinsmehl, Kreide werden vor allem zur Verbilligung des Werkstoffes genommen.

Zusatzstoffe wie z.B. Graphit, MoS₂, PTFE kommen dort zur Anwendung, wo eine gewisse Eigenschaft verbessert werden soll. Zum Beispiel

wird PTFE eingesetzt, um die Gleiteigenschaften zu verbessern.

Verstärkungsstoffe wie z.B. Glasfasern, Kohlefasern, Aramidfasern, div. Gewebe kommen dort zum Einsatz, wo die mechanischen Eigenschaften verbessert werden sollen.

4.4. Wissenswertes im Umgang mit den Thermoplasten

Um beim Konstruieren oder beim Ver- oder Bearbeiten von Thermoplasten keine Überraschungen zu erleben, müssen gewisse Eigenschaften der Thermoplaste berücksichtigt werden.

An dieser Stelle möchten wir vier wesentliche Eigenschaften der Thermoplaste erläutern, die, wenn sie in der Konstruktion oder in der Ver- oder Bearbeitung berücksichtigt werden, sich in der Anwendung nicht negativ auswirken.

4.4.1. Der innere Spannungsaufbau

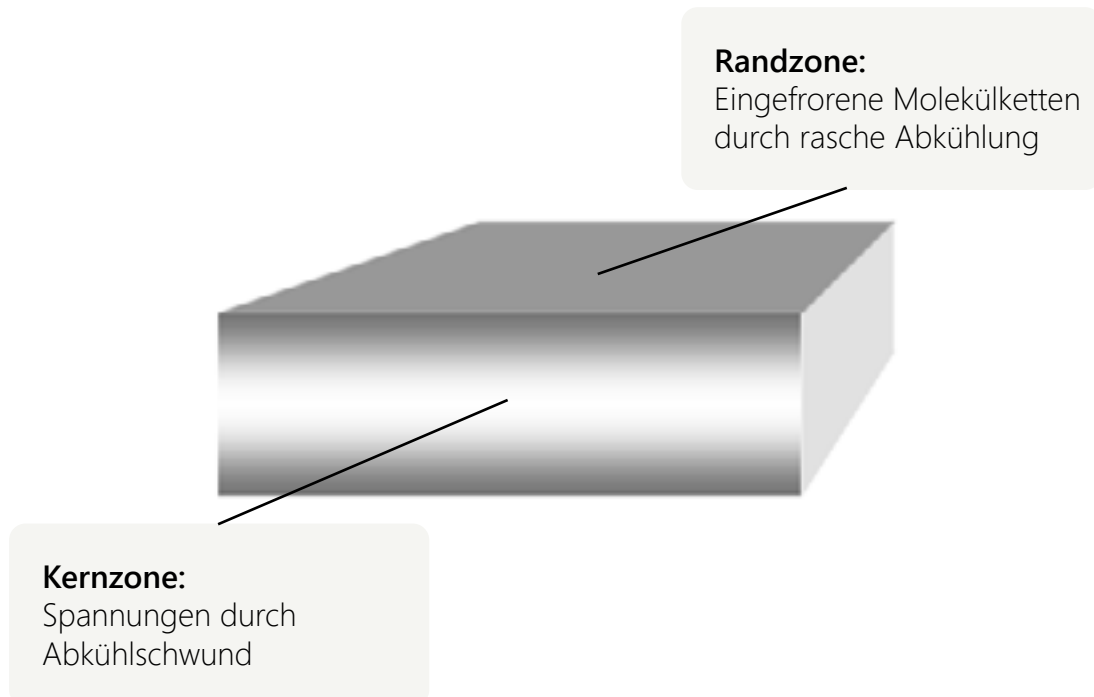
Wie vorhin beschrieben, liegen die Molekülketten knäuel förmig vor. Wird dem Thermoplast Energie zugeführt, z.B. in Form von Wärme, beginnen die Molekülketten zu schwingen. Durch diese Bewegung wird der Abstand zwischen den Makromolekülen vergrößert, d.h. die Nebenvalenzkräfte nehmen ab. Bei einer genügend grossen Abnahme der Nebenvalenzkräfte ist es deshalb möglich, den Thermoplast plastisch zu verformen, z.B. in Form von Extrudieren oder Spritzgiessen.

Bei einer anschliessenden raschen Abkühlung, wie das z.B. im Spritzgiessen vorkommt, können sich diese Moleküldeformationen nicht mehr völlig ausgleichen, sie frieren ein. Diesen eingefrorenen **Orientierungsspannungen** überlagern sich **noch Abkühlspannungen**, oft auch „**Eigen-spannungen**“ genannt. Sie entstehen dadurch, dass beim Erstarren des Formteils in der Form die äussere Schicht, die der gekühlten Formwand

anliegt, zuerst fest wird. Beim weiteren Abkühlen erstarren auch die inneren Schichten und ziehen sich dabei zusammen. Letzteres wird aber durch die äusseren, schon festen Schichten gehemmt. Die auf diese Weise entstehenden **inneren Spannungen** lassen sich in einem gewissen Masse durch Temperführung der Schmelze und in Form und Wahl des Nachdrucks vermindern, doch selten ganz vermeiden.

Bei der Extrusion von Thermoplasten funktioniert der Abkühlprozess sehr ähnlich. Deshalb sind auch in jedem Halbzeug **innere Spannungen** vorhanden.

Diese inneren Spannungen können auch bei der Extrusion niedrig gehalten (z.B. durch langsames Abkühlen) oder abgebaut (durch anschliessendes Tempern) werden. Sie lassen sich jedoch höchstens reduzieren aber auf keinen Fall können Halbzeuge spannungsfrei bezogen werden.



Folge daraus an zwei Beispielen:

1. Für den Konstrukteur eines Bauteils aus Thermoplast ist es von besonderer Bedeutung, dass er bei der Festlegung der Toleranzen berücksichtigt, dass Spannungsveränderungen zu Massveränderungen führen.
2. Für den Bearbeiter von Fertigteilen aus Halbzeug ist es sehr wichtig zu wissen, wie er z.B. eine Platte zuschneidet, um beim anschliessenden Bearbeiten keine unerwünschten Massveränderungen zu bekommen.

4.4.2. Die Spannungsrissempfindlichkeit bei amorphen Thermoplasten

Amorphe Thermoplaste neigen zur Spannungsrissempfindlichkeit. Dies ist eine charakteristische Eigenschaft der amorphen Thermoplaste!

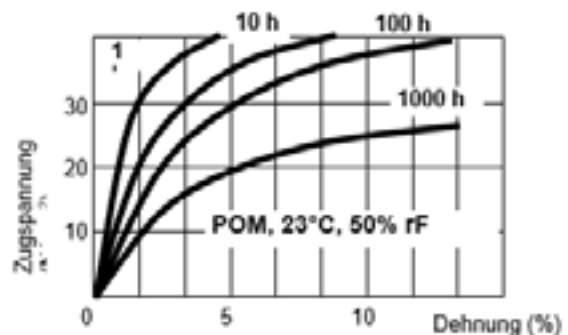
Daher muss darauf geachtet werden, dass bei amorphen Thermoplasten Ursachen für die Spannungsrissempfindlichkeit möglichst vermieden werden. Die möglichen Ursachen können sein:

- Bei der spanabhebenden Bearbeitung
 - stumpfe Werkzeuge
 - zu hoher Werkzeugdruck
 - falsche Kühlschmiermittel (Lösungsmittel!)
 - keine oder falsche Zwischentemperaturen
- Umformprozesse und -spannungen
- Schweißen / Kleben / Reinigen /
- Chemikalieneinwirkung
- Mechanische Belastung unter Gebrauch

4.4.3. Das Kriechverhalten der Thermoplaste

Bei einer konstanten Belastung eines Thermoplasts nimmt die Deformation in Abhängigkeit der **Zeit** und der **Temperatur** zu! Dieser Effekt, der bei allen Thermoplasten mehr oder weniger auftritt, nennt man den „**Kriecheffekt**“

Um bei Berechnungen den Einfluss von Temperatur und Zeit berücksichtigen zu können, existieren, wie unten schematisch dargestellt, sogenannte **Isochrone Spannungsdehnungsdiagramme**.



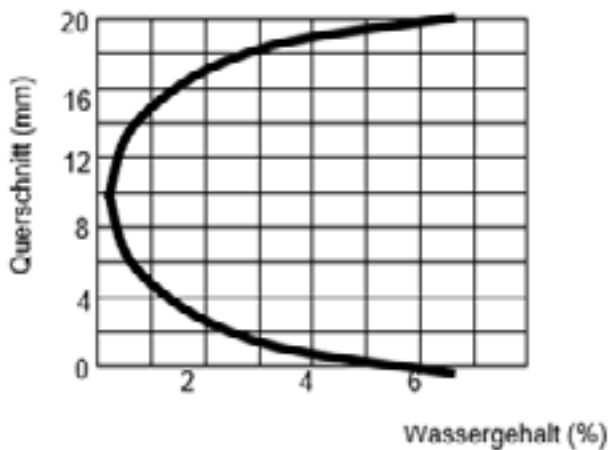
4.4.4. Beeinflussung der Feuchtigkeit

Bei Thermoplasten, die zur Absorption von Wasser neigen, hat die Feuchtigkeit einen grossen Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften sowie auf die Masshaltigkeit.

Typischer Vertreter dieser Thermoplaste ist Polyamid (PA). Mit zunehmendem Wassergehalt wird die Schlagzähigkeit erhöht, die Steifigkeit vermindert und es findet auch eine Masszunahme statt.

Die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme sowie der Sättigungsgrad sind materialabhängig.

Am unten aufgeführten Beispiel wird die Feuchteverteilung über ein Gusspolyamid-Körper nach 3-jährigem Ausseneinsatz dargestellt:



5. Elastomere

Siehe dazu das Register „Polyurethane“.

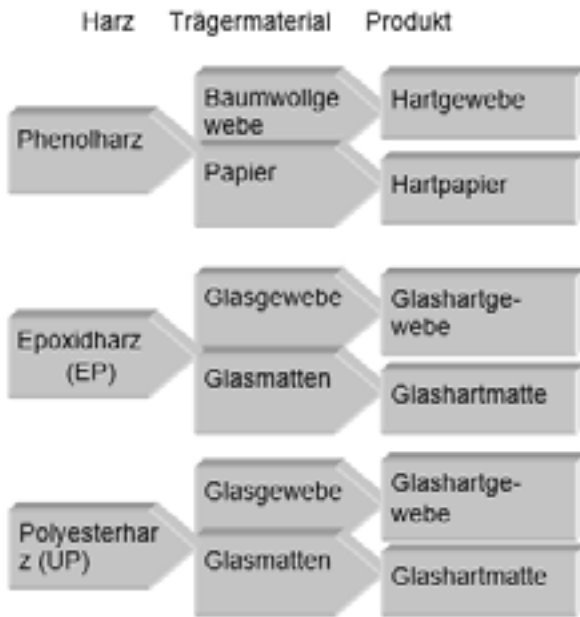
6. Duroplaste

In diesem Kapitel werden wir uns auf die **Schichtpresstoffe** beschränken. Schichtpresstoffe wie Hartpapier, Hartgewebe, Glashartgewebe usw. gehören zur Familie der **Duroplaste** und zeichnen sich durch besondere Eigenschaften aus wie

äusserst hohe mechanische Belastbarkeit bei geringem Gewicht, ausgezeichnete elektrische Isolationswerte, hervorragende Kriechstromfestigkeit, hohe Wärmebeständigkeit und vieles mehr.

6.1. Aufbau der Schichtpresstoffe

Schichtpresstoffe bestehen aus einem **Trägermaterial** und einem **Harz**. Die Grundarten der Schichtpresstoffe sind:



Neben den Grundtypen gibt es eine Vielzahl von Sondertypen mit diversesten Ausprägungen.

6.2. Wissenswertes im Umgang mit den Schichtpresstoffen

Beim Konstruieren oder beim Bearbeiten von Schichtpresstoffen müssen bestimmte Kriterien beachtet werden. An dieser Stelle möchten wir zwei wesentliche Eigenschaften darstellen, die

beim Konstruieren aber auch beim Bearbeiten von Schichtpresstoffen berücksichtigt werden müssen.

6.2.1. Harzart und Trägermaterial

Die Eigenschaften eines Schichtpresstoffes hängen von

- der Harzart
- dem Trägermaterial
 - Faserart
 - Faserrichtung
 - Fasergehalt

sowie von

- der Beanspruchungsart

ab. Dabei muss sehr genau geprüft werden, wie sich die **mechanische Belastung** im Bauteil zusammensetzt und wie hoch sie ist.

6.2.2. Bearbeitung von Schichtpresstoffen

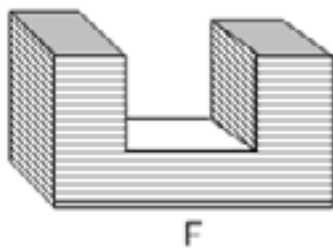
In der Konstruktion muss die **Faserrichtung** berücksichtigt werden und in Abhängigkeit der **Beanspruchung** festgelegt werden.

Die **thermischen Eigenschaften** hängen in erster Linie von der Harzart ab. Da es sich bei den Schichtpresstoffen um vernetzte Systeme handelt, ist der **Kriecheffekt**, wie es sich bei den Thermoplasten zeigt, sehr gering.

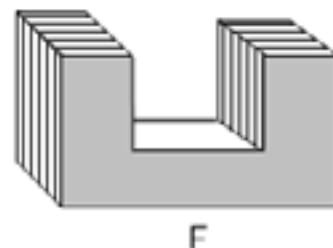
Die **chemische Beständigkeit** von Schichtpresstoffen hängt von der Harzart sowie vom Trägermaterial ab. Dabei muss ebenfalls die Temperatur und die Belastungsart berücksichtigt werden. Aufgrund dieses komplexen Verhaltens können für die chemische Beständigkeit nur generelle Aussagen gemacht werden (siehe dazu das Kapitel „**Schichtpresstoffe**“).

Einzelne Schichtpresstoffe (vor allem Epoxid mit Glasfaserverstärkung) haben dank ihrer **elektrischen Isoliereigenschaften** eine grosse Bedeutung erlangt. Schichtpresstoffen mit hoher Durchschlagsfestigkeit sind in der Hochspannungstechnik nicht mehr wegzudenken.

Am unten dargestellten Beispiel soll der Einfluss der Belastungsart und der Faserrichtung dargestellt werden.



Falsche Konstruktion / Bearbeitung



Richtige Konstruktion / Bearbeitung

6.3. Herstellung der Schichtpresstoffe

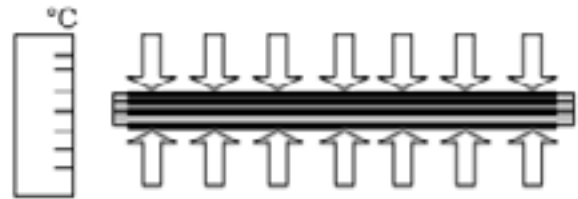
Grundsätzlich erfolgt die Herstellung von Schichtpresstoffen in zwei Herstellungsschritten:

1. Prepregherstellung
2. Verpressung

Im ersten Schritt wird das Trägermaterial im Harz getränkt und anschliessend getrocknet.



Im zweiten Schritt wird das Prepreg unter Druck und Temperatur zu Platten, Rundstäben oder Formen verpresst.



Mit diesem Grundverfahren werden Platten, Rundstäbe oder gewickelte Rohre mit begrenzten Dimensionen hergestellt.

6.3.1. Pultrusion

Pultrusion ist ein wichtiges Spezialverfahren bei der Herstellung von Endlos-Schichtpresstoff-Profilen oder -rundstäben. Pultrusion wird vom Englischen abgeleitet:

„pull“ → ziehen

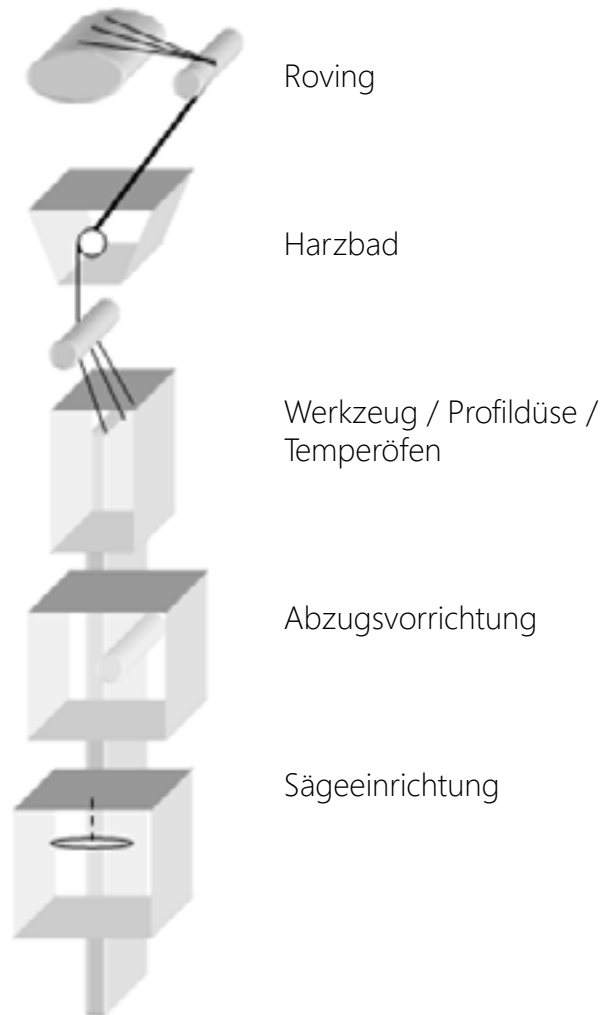
Beschreibung des Verfahrens:

Die Rovingfäden werden durch ein Harzbad geführt, an das sich unmittelbar die formgebende beheizte Düse anschliesst. Ein Einlauf zu Beginn der Düse hält das überschüssige Harz zurück.

Die Düse wird wegen der hohen Reibung gerade so kurz gehalten, dass das austretende Profil eine ausreichende Stabilität besitzt, um ohne Verformung einen Nachhärtungssofen durchlaufen zu können.

Den Abzug übernehmen Walzenpaare oder hydraulische Greifer, da meist erhebliche Reibungskräfte in der Düse überwunden werden müssen.

Die einzelnen Elemente dieses Verfahrens sind unten schematisch dargestellt.



Ein Sonderverfahren der Pultrusion ist das **Pull-Winding-Verfahren**, bei dem eine oder auch mehrere Schichten der Rovingfäden in radialer

Richtung „versponnen“ werden. Mit dieser Art können Profile nach ihrer Belastungsart optimiert werden.

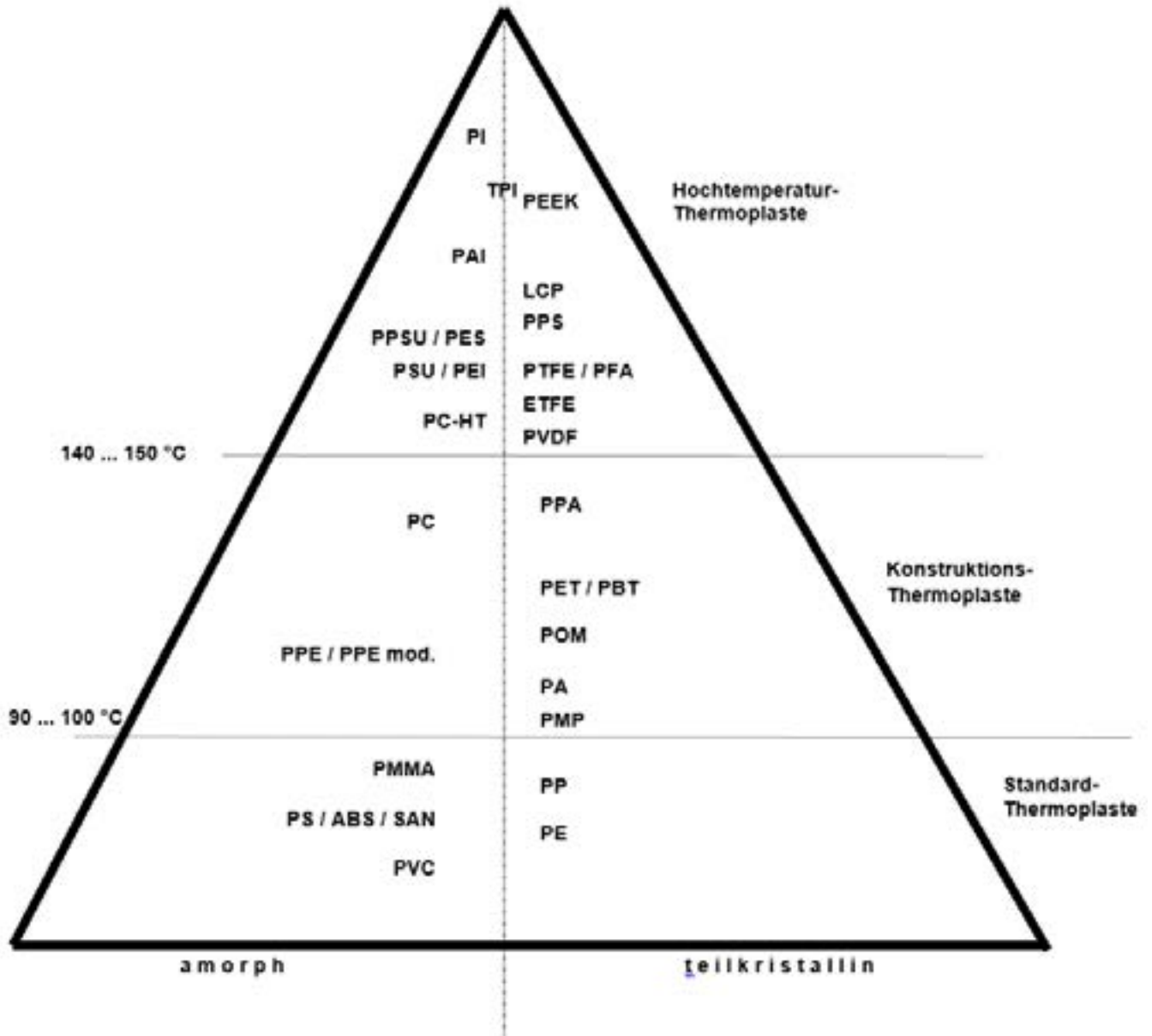
Die klassischen Vorteile der Kunststoffe

- Geringe Dichte
- Elektrische Isolation oder einstellbare Leitfähigkeit
- Durchlässigkeit für elektromagnetische Wellen
- Sehr gute Korrosionsbeständigkeit / Chemische Beständigkeit
- Thermische Isolation
- Thermisches Ausdehnungsverhalten ist den Metallen anpassbar (z.B. verstärkte Thermoplaste, Duroplaste)
- Optimale Anpassung der Werkstoffeigenschaften an die Einsatzanforderungen
- Gute thermisch - mechanische Belastbarkeit
- Modifikationen mit sehr guten Gleit- und Verschleisseigenschaften verfügbar
- Gute Geräusch- und Schwingungsdämpfung
- Gute Designfähigkeit
- Hochproduktive Massenfertigungsverfahren verfügbar

Kunststoffprioritätsregel:

Erfüllen zwei oder drei der oben aufgeführten kunststofftypischen Eigenschaften die Aufgabenstellung, wird sich die Lösung im Kunststoffbereich finden.

Die Pyramide der Thermoplaste



Alle Angaben zu unseren Produkten entsprechen dem heutigen Stand unserer Kenntnisse. Informationen über Materialeigenschaften stammen von unseren Lieferanten und sind von uns nicht überprüft worden. Die Angaben sind nicht als Zusicherungen für bestimmte Eigenschaften unserer Produkte zu verstehen. Die Angaben sowie unsere konkreten anwendungstechnischen Hinweise in Wort und Schrift befreien Sie nicht von einer eigenen Prüfung der Produkte auf ihre Eignung für den von Ihnen beabsichtigten Einsatzzweck. Unsere Angaben sind unverbindlich - auch soweit sie Schutzrechte Dritter betreffen - und können zu keiner Haftung führen. Die Gewährleistung für die Qualität unserer Produkte sowie unsere Haftung richten sich im Übrigen nach den Ihnen bekannten Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen der KUNDERT AG.