

Vorlesung 1.1: Einleitung

- 1) Nennen Sie typische Branchen/Einsatzgebiete für Kunststoffe.
 - Mobilität
 - Freizeit/Sport
 - Verpackung
 - Bauwesen (Polymere als Additive → Lotuseffekt)
 - Informationstechnik
 - Medizintechnik
- 2) Nennen Sie Gründe, warum Kunststoffe auch gerne in ästhetischen Anwendungen eingesetzt werden.
 - Kunststoff kann sehr hochwertig sein.
 - Kunststoff kann jegliche Farben und Oberflächen annehmen.
 - Kunststoff ermöglicht schöne Formen.
- 3) Was sind Kunststoffe?
„Kunststoffe sind Materialien, deren wesentlichen Bestandteile aus solchen makromolekularen organischen Verbindungen bestehen, die synthetisch oder durch Umwandlung von Naturprodukten entstehen. (...)“
- 4) Polymere Werkstoffe können neben Kunststoffen auch andere Erscheinungsformen haben. Nennen Sie drei weitere und erläutern Sie sie kurz.
 - **Kautschuk/Gummi (engl. rubber)**
Konstruktionswerkstoff, der wegen seines Verformungsverhaltens als eigene Gruppe betrachtet wird. (chemisch ähnlich wie Kunststoff)
 - **Faserstoffe (engl. synthetic fiber)**
Wegen der einseitigen Ausrichtung der Anwendung, zählen sie nicht zu den Konstruktionswerkstoffen. (chemisch fast identisch zu Kunststoff)
 - **Hilfsstoffe (engl. additives)**
Dispersionen oder Lösungen (Klebstoffe, Lacke, ...) Meist in Verbindung mit anderen Stoffen eingesetzt.
- 5) Kunststoffe sind irgendwie „künstliche Stoffe“. Wie werden Sie denn gewonnen, wenn Sie nicht natürlichen Ursprungs sind?
In einer Ölraffinerie wird Rohöl durch **Destillation** in mehrere Fraktionen zerlegt (ordnen der Moleküle nach Größe). So entstehen unter anderem Gas, Benzine, Heizöl, Bitumen, Koks und Schwefel. Die für die Kunststoffherstellung wichtigste Fraktion ist das Naphtha (Rohbenzin). In einem thermischen Spaltprozess (**Cracken**), wird das Naphtha in Ethylen, Propylen und Ausgangsstoffe für die chemische Industrie „auseinandergebrochen“ (spalten großer Moleküle in kleine) und umgebaut (**Reformieren**, Umbau bestimmter Moleküle). Danach werden die Moleküle noch von unerwünschten Bestandteilen gereinigt (**Raffinieren**). Aus dem entstanden Ethylen/Propylen können in nachfolgenden Reaktionsprozessen verschiedenen Kunststoffe gewonnen werden.
- 6) Können Kunststoffe nicht auch natürlich gewonnen werden? Was benötigt man dann als Kohlenstoff-Quelle?
 - Polymersynthese in Pflanzen
 - Polymersynthese in Mikroorganismen
 - Monomersynthese in Mikroorganismen
 - Chemische Monomersynthese
 - Monomere & Polymere auf Glukosebasis

} Biobasierte Polymere
- 7) Sind Kunststoffe teure oder kostengünstige Werkstoffe?
Kunststoff teurer Werkstoffe!
Baustahl $\sim 0,50 \frac{\text{€}}{\text{kg}}$
Polyamid $\sim 2,50 \frac{\text{€}}{\text{kg}}$

8) Sind Kunststoffbauteile eher teuer oder kostengünstig? Wieso?

Kunststoffbauteil kostengünstig!

- Kostengünstige Umformung
- Formgebungsvielfalt
- Gestaltungsfreiheit

9) Ordnen Sie verschiedene Kunststoffarten Anwendungsmöglichkeiten, Preis und Mengeneinsatz zu. Wie heißen die drei Gruppen, die sich bei dieser Betrachtung bilden?

- **Standardkunststoffe/Massenkunststoffe**

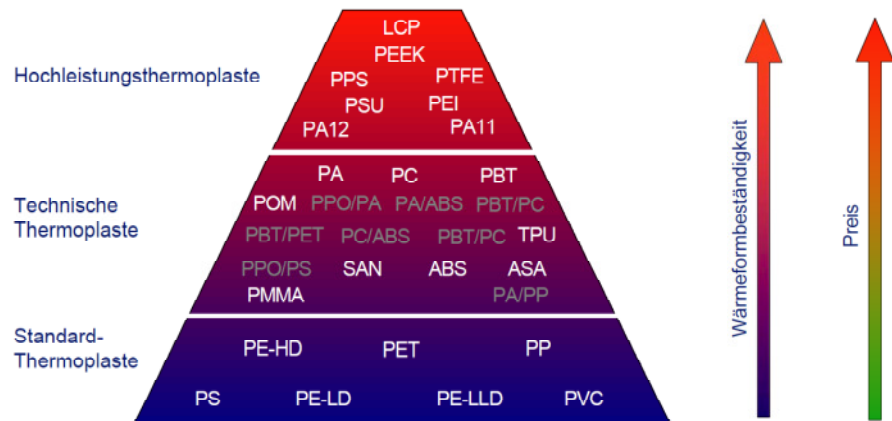
Umfassen die in großen Mengen hergestellten Thermoplaste, welche oft für Verpackungen, Gehäuse o.ä. eingesetzt werden.

- **Technische Kunststoffe („Ingenieurkunststoffe“)**

Besitzen gegenüber Standardkunststoffen bessere mechanische, thermische und meist auch elektrische Eigenschaften. Sie sind für komplexe Beanspruchungen einsetzbar.

- **Hochleistungskunststoffe**

Technische Kunststoffe mit besonders herausragenden Eigenschaften, besonders hinsichtlich der thermischen Einsatzgrenzen. Die Verarbeitung von Hochleistungskunststoffen stellt oftmals auch höhere Anforderungen.



Vorlesung 1.2: Von Monomer zum Polymer

- 1) Ausgangsstoff für die chemische Synthese von Makromolekülen sind niedermolekulare Verbindungen (Monomere). Je nach Art der ablaufenden chemischen Reaktion unterteilt man in drei Klassen von Synthesereaktionen. Nennen Sie diese.
 - Polymerisation
 - Polykondensation
 - Polyaddition

- 2) Eine Differenzierung nach dem Mechanismus der ablaufenden Polyreaktionen führt zu einer weiteren Einteilung in „Kettenwachstumsreaktion“ und „Stufenwachstumsreaktion“. Ordnen Sie diese beiden Begriffe den in a) genannten drei Reaktionen zu.
 - **Polymerisation**
Kettenwachstumsreaktion, bei der ungesättigte Moleküle zu Makromolekülen verknüpft werden. Bsp.: Radikalische und ionische Polymerisation (z.B. **PE, PVC**)
 - **Polykondensation**
Stufenreaktion, bei der Makromoleküle unter Abspaltung von Nebenprodukten, z.B. Wasser, Alkohol, gebildet werden. (z.B. **PA, PC**)
 - **Polyaddition**
Stufenreaktion, bei der Makromoleküle durch „Addition“ ohne Abspaltung von Nebenprodukten gebildet werden. (z.B. **POM, PU**)

- 3) Vernetzte Polymere sind in allen Lösemitteln unlöslich, sie werden höchstens durch aggressive Chemikalien zerstört. Die meisten unvernetzten Polymere lassen sich dagegen in geeigneten Lösemitteln lösen. Erläutern Sie die Unterschiede!

Stark vernetzte Polymere	Schwach vernetzte Polymere
• starke Bindung zwischen den Polymerketten • quellen kaum	• schwache Bindung zwischen den Polymerketten • quellen stark

Merke! Chemische Bindungskräfte sind sehr stark, physikalische lassen sich hingegen leicht durch Wärme und Lösungsmittel reduzieren.

4)

Vorlesung 2: Verhalten der Schmelze

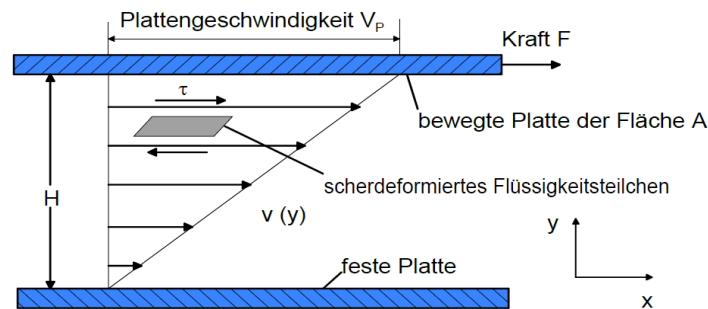
1) Womit beschäftigt sich die Rheologie?

Die **Rheologie** (von griechisch $\rho\epsilon\iota$ rhei „fließen“ und griechisch $\lambda\acute{o}\gamma\omicron\varsigma$ logos „Lehre“) ist die Wissenschaft, die sich mit dem Verformungs- und Fließverhalten von Materie beschäftigt.

Die Rheologie umfasst daher Teilgebiete

- der Elastizitätstheorie,
- der Plastizitätstheorie und
- der Strömungslehre (z. B. bei nicht-newton'schen Flüssigkeiten).

2) Wie sind die Schergeschwindigkeit und die Viskosität definiert?



Schubspannung

$$\tau = \frac{F}{A}$$

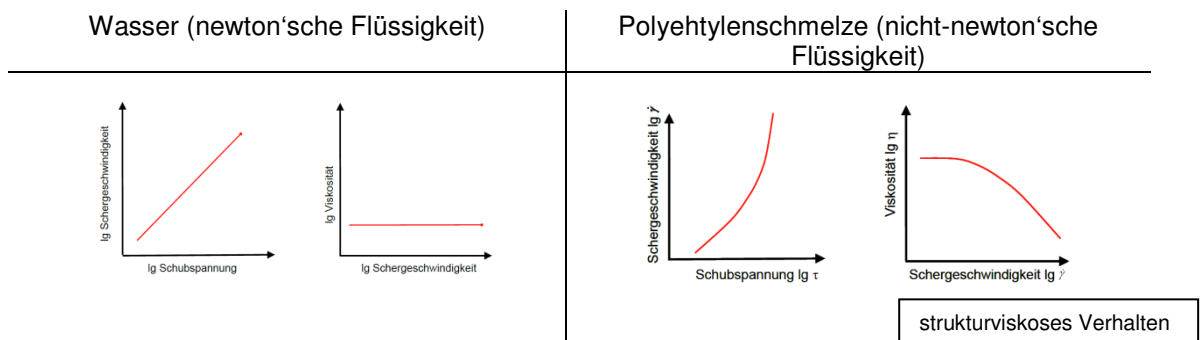
Schergeschwindigkeit

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dy} = \frac{v_P}{H}$$

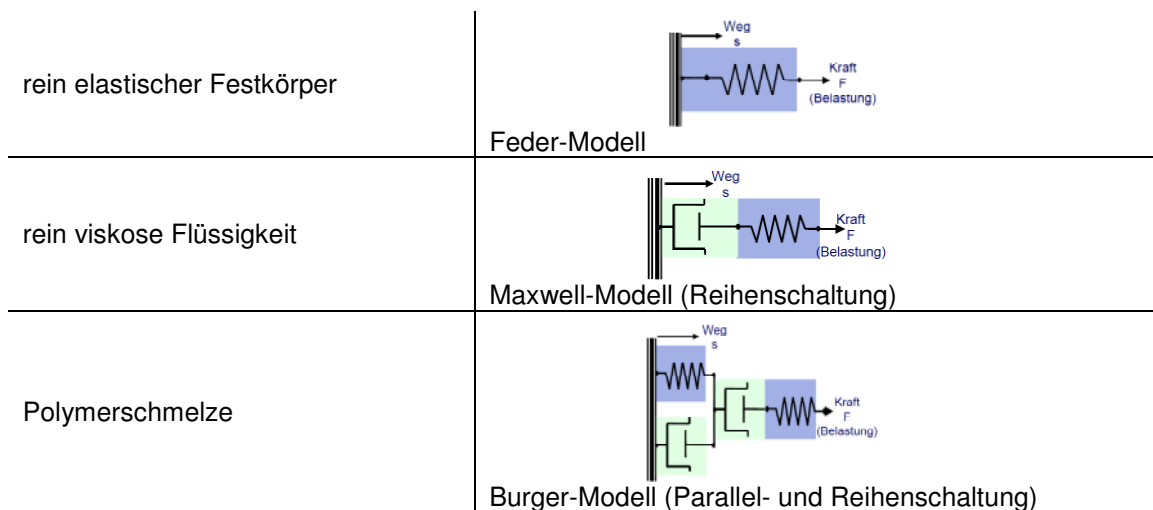
Viskosität

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

3) Worin unterscheidet sich das Fließverhalten von Wasser und einer Polyethylenschmelze?



4) Welche Ersatzmodelle beschreiben einen rein elastischen Festkörper, eine rein viskose Flüssigkeit und eine Polymerschmelze?



5) Welche Ansätze gibt es, um den Verlauf einer Polymerschmelze mathematisch zu beschreiben?

- Potenzansatz nach Ostwald / de Waele $\dot{\gamma} = \phi * \tau^m$
- Carreau-Ansatz $\eta = \frac{A}{(1+B*\dot{\gamma})^C}$

6) Welche Vor- und Nachteile haben die einzelnen Ansätze?

	Potenzansatz nach Ostwald / de Waele	Carreau-Ansatz
Vorteile	• mathematisch sehr einfach zu handhaben • gut geeignet für die Beschreibung	• Für den gesamten Schergeschwindigkeitsbereich der Verarbeitung gültig • Die Koeffizienten stellen physikalische Größen und somit reale Stoffwerte dar
Nachteile	• Bei Schergeschwindigkeiten gegen null gehend wird der ermittelte Viskositätswert unendlich hoch. • Die Dimension der Fluidität hängt von m ab. Somit sind die Parameter der Funktion keine physikalischen Größen.	• gute Approximation ist nur gegeben, wenn Messpunkte in allen Bereichen der Kurve vorliegen

7) Durch welche Konstitution lässt sich ein Polymer charakterisieren?

- Molmasse
- Molmassenverteilung
- Kettenstruktur (linear oder verzweigt)

8) Bei welchen Prozessen spielt die Dehnviskosität eine wichtige Rolle?

- Folienblasen
- Thermoformen
- Faserspinnen
- Schäumen
- Coating

9) Welchen Einfluss hat die Molmasse auf die Viskosität?

Mit zunehmender Molmasse steigt die Viskosität.

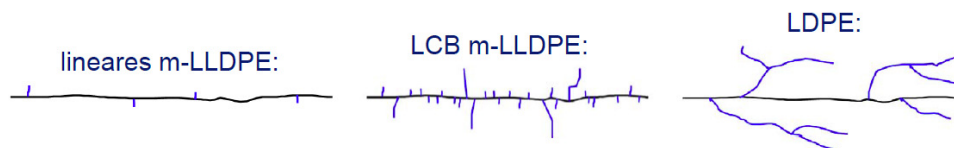
10) Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Nullviskosität und der Molmasse?

Nullviskosität (= newton'scher Bereich) ist nur von der Molmasse abhängig!

Unterhalb einer kritischen Molmasse M_C , linearer Zusammenhang in der log-log Darstellung

Oberhalb einer kritischen Molmasse M_C , Potenzgesetz mit $b = 3,4$ bis $3,6$

11) Wie sieht die molekulare Struktur eines LLDPE, LCB-LLDPE, LDPE aus?



12) Welchen Einfluss hat die molekulare Struktur auf das strukturviskose Verhalten?

13) Welchen Einfluss hat die molekulare Struktur auf das Deformationsverhalten unter Dehnung und in welchen Prozessen spielt die Dehndeformation eine wichtige Rolle?

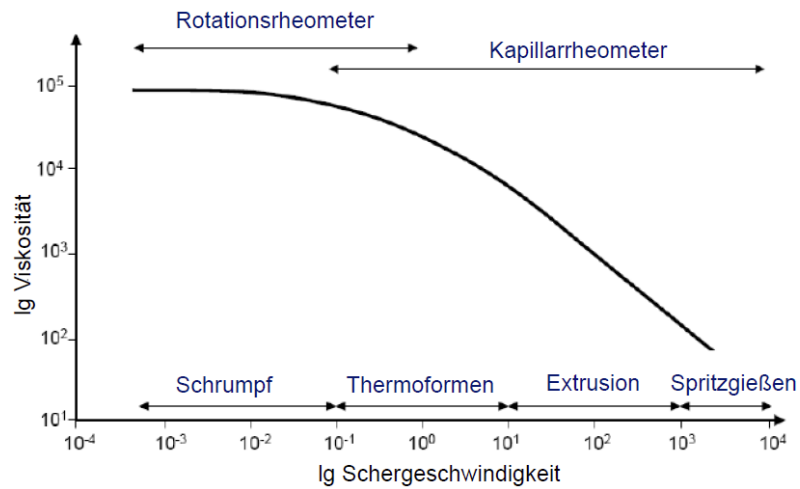
14) Was bedeutet MFI und wozu dient dieser Wert?
Melt Flow Index

15) Durch welche Messverfahren lässt sich die Viskosität von Polymerschmelzen bestimmen?

- Schmelzindex-Meßgerät
- Hochdruck-Kapillarrheometer
- Kegel-Platte- Rheometer
- Platte-Platte- Rheometer
- Couette-Rheometer

16) Wo liegen die Grenzen der einzelnen Messverfahren?

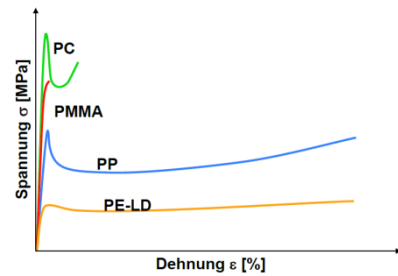
17) Wo liegen die Schergeschwindigkeitsbereiche beim Thermoformen, bei der Extrusion und beim Spritzgießen?



Vorlesung 3.1: Erstarrung und Kraftübertragung

1) Welcher Werkstoff ist am festesten, am steifesten, am zähesten?

- festesten: PC
(höchster Ausschlag der Kurve)
- steifesten: PC (PMMA)
(größte Steigung der Kurve)
- zähesten: PP
(größte Fläche unter Kurve)



2) Wodurch unterscheiden sich teilkristalline und amorphe Kunststoffe?

amorph	teilkristallin
• ungeordnete Struktur der Makromoleküle	• teilweise geordnet (kristallin), teilweise ungeordnet (amorph) Struktur der Makromoleküle

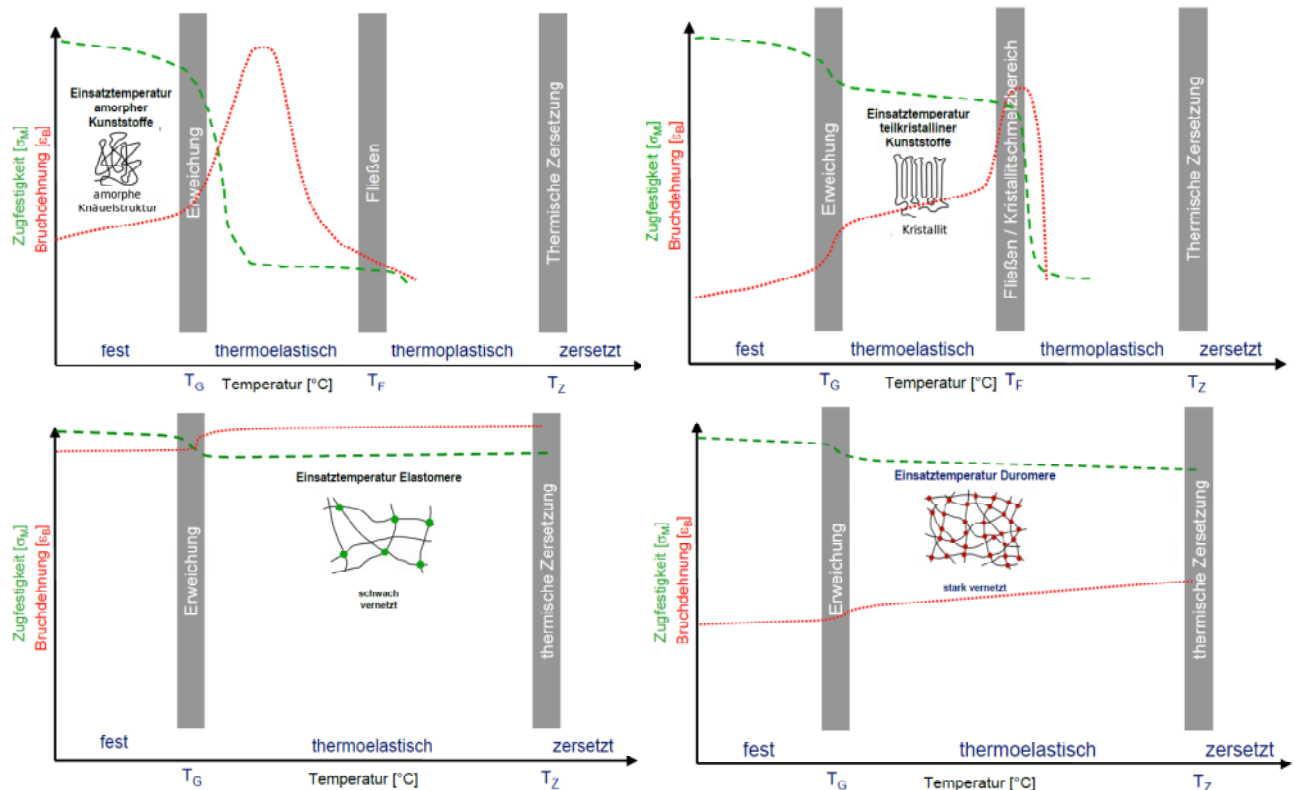
3) Welcher Kunststoff ist im Allgemeinen dehnfähiger?

- Duromer
- **Elastomer**

Warum?

Durch ihre weitmaschige Vernetzung können Elastomere große Spannungen aushalten.

4) Beschreiben Sie wie sich Kunststoffe in den charakteristischen Übergangsbereichen mit steigender Temperatur verändern.



- T_G Glasübergang
- T_F Schmelztemperatur
- T_Z Zersetzung

Vorlesung 3.2: Eigenschaften des Festkörpers I

- 1) Nennen Sie einige mechanische Prüfverfahren, deren Vor- & Nachteile und deren Eigenschaften.

Zugprüfung

Eigenschaften:

- Zugbeanspruchung (einachsiger Spannungszustand)
- für alle Kunststoffe anwendbar
- Kennwerte: E-Modul, Zugfestigkeit, Dehnungen, ...

Vorteile:

- verbreitetes Prüfverfahren (bei allen Werkstoffen)

Nachteile:

- eher geringe Prüfgeschwindigkeit

Schlagbiegeversuch

Eigenschaften:

- Biegebeanspruchung (mehrachsiges Spannungszustand)
- Kennwert: Energie (Arbeitsaufnahme pro Querschnittsfläche)
- Gekerbte und ungekerbte Prüfkörper möglich
- Durch Kerbe definierte Schwachstelle (bei zähen Materialien)

Vorteile:

- Einfacher Aufbau

Nachteile:

- Geschwindigkeit nicht frei wählbar (Schlagpendel)
- Geschwindigkeit nicht konstant, Pendel durch Probe gebremst
- Meist nicht instrumentalisiert

Schnellzerreiversuch

Eigenschaften:

- uniaxiale Zugbeanspruchung
- Ermittlung des Spannungs-Dehnungs-Verlaufs
- Ermittlung des Arbeitsaufnahmevermögens über das Integral unter der Kurve

Vorteile:

- Belastungsgeschwindigkeiten wählbar
- Belastungsgeschwindigkeiten konstant
- instrumentalisiert (Kraftverlauf über der Zeit)
- Werkstoffverhalten (zäh, spröde) über Kurvenverlauf erfassbar

Nachteile:

- Servo-hydraulische Zugprüfmaschine notwendig

3-Punkt-Biegeversuch

Eigenschaften:

- Biegebeanspruchung (mehrachsiges Spannungszustand)
- Kennwert: (Biege-)Spannungs-(Randfaser)Dehnungs-Diagramm

Vorteile:

- Prüfung für Biegebeanspruchung

Nachteile:

- gegenüber Zugprüfung aufwändigerer Aufbau (Auflagerabstand von Probendicke abhängig)

Schlagzugversuch

Eigenschaften:

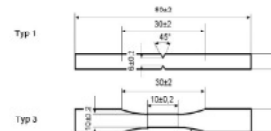
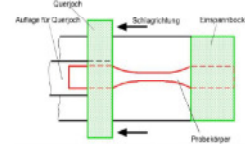
- uniaxiale Zugbeanspruchung
- Kennwert: Energie
- gekerbte Prüfkörper möglich

Vorteile:

- Einfacher Aufbau und Auswertung
- Einfacher Spannungszustand

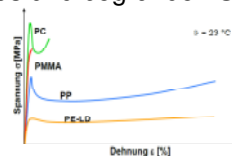
Nachteile:

- Geschwindigkeit nicht frei wählbar (Schlagpendel)
- Geschwindigkeit nicht konstant, Pendel durch Probe gebremst
- meist nicht instrumentalisiert



- 2) Sie entwickeln eine Tragtasche. Nennen Sie mindestens zwei wichtige mechanische Anforderungen, die Sie beachten müssen.
- hohe Festigkeit
 - hohe Steifigkeit
- 3) Im folgenden Spannungs-Dehnungs-Diagramm sind typische Verläufe mehrerer Kunststoffe dargestellt. Wählen Sie einen Kunststoff für eine Tragetasche aus und begründen Sie kurz.

PC (Polycarbonat): Dieser Kunststoff weist die höchste Festigkeit und Steifigkeit aller zur Verfügung stehender Kunststoffe aus.



- 4) Es ist Winter. Sie befinden sich auf dem Heimweg vom Supermarkt. Die Tragetasche reißt. Nennen Sie eine mögliche Ursache.
- Durch die Abnahme der Temperatur verringert sich die Dehnfähigkeit des Kunststoffes. Es kommt zu Rissbildung mit anschließender Verformung der Tragtasche.

- 5) Erklären Sie den grundlegenden Unterschied zwischen
- Retardation und
 - Relaxation.

Zeitstand-Zugversuch

Retardation: Kriechen $\rightarrow \sigma = \text{const.}$ (konstante Kraft)

Relaxation: Entspannung $\rightarrow \epsilon = \text{const.}$ (Kraftabnahme)

- 6) Warum hat Wasser im Vergleich zu Alkohol (Ethanol) eine höhere spezifische Wärmekapazität?
Wasser besitzt mehr Nebenvalenzbindungen (Wasserstoffbrücken – Moleküle verschiedener Ladungen ziehen sich gegenseitig an) und benötigt somit mehr Energie pro kg Stoff um seine Temperatur um 1K zu erhöhen.
- 7) Wodurch kann das spezifische Gewicht eines Kunststoffes erhöht werden?
- Kristallisationskraft steigern
 - Füllstoffe im Kunststoff erhöhen
- 8) Kunststoffe verfügen im Allgemeinen über eine geringe Wärmeleitfähigkeit. Wie kann diese Eigenschaft positiv genutzt werden?
Kunststoffe können im Bereich der Wärmedämmung eingesetzt werden. Durch ihre geringe Wärmeleitfähigkeit isolieren sie sehr gut. (Beispiel: Fensterbau)

amorphe Kunststoffe:	transparent oder glasklar (einfallendes Licht nicht gestreut)
teilkristalline Kunststoffe:	opak oder milchig (einfallendes Licht gestreut)

Vorlesung 4.1: Eigenschaften des Festkörpers II

- 1) Warum sind Kunststoffe ohne Zusatzstoffe keine elektrischen Leiter (nicht ferromagnetisch) ?
Kunststoffe sind die besten Isoliermaterialien, da im Molekülverband keine frei beweglichen Elektronen vorhanden sind.
- 2) Welche optischen Anforderungen werden an einen Kunststoff gestellt, der als CD verwendet werden soll?
 - Reinheit
 - Klarheit
 - hohe Transparenz
 - keine Orientierungen

Kann das sichtbar gemacht werden?

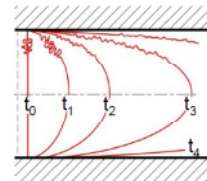
Ja, Overheadversuch mit Polarisationsfilter.

- 3) Warum bekommen Sie im Auto hinter der Glasscheibe keinen Sonnenbrand?
Fensterglas ist transparent für sichtbares Licht und für kurzwellige Infrarotstrahlung für UV-Strahlung aber nicht. UV Strahlung wird absorbiert.
- 4) Amorphe und teilkristalline Kunststoffe unterscheiden sich im Allgemeinen in ihren optischen Eigenschaften. Ordnen Sie zu.

	amorph	teilkristallin
Regellose Anordnung der Kettensegmente	X	
Einfallendes Licht wird nicht gestreut, kann ungehindert durchscheinen	X	
Einfallendes Licht wird gestreut		X
Kunststoff erscheint opak (oder milchig)		X
Kunststoff erscheint transparent	X	

- 5) Wodurch entstehen bei der Herstellung Orientierungen?

Durch die Scherung - insbesondere an der Formwand - werden die Makromoleküle ausgerichtet und beim Erstarren eingefroren.



- 6) In welcher Anwendung sind Orientierungen gewünscht?
In Orientierungsrichtung liegt eine höhere Steifigkeit und Festigkeit (anisotrope Anordnung der Molekülketten). Bei Anwendungen mit Polystyrol (Schaumstoff) sind Orientierungen erwünscht.
- 7) Wie können unerwünschte Orientierungen reduziert werden?
 - Warmlagerung unter/ohne Formzwang
 - > T_G bei amorphen Thermoplasten
 - < T_M bei teilkristallinen Thermoplasten
- 8) Welche Schaumstoffe sind offenzellig? Welche geschlossenzellig?

offenzellig	geschlossenzellig
• gute Schallisolierung • Topfchwamm • Polystyrolschaum (Styropor)	• gute Wärmeisolierung • Kaltschaum Matratzen

Vorlesung 4.2: Kunststoffaufbereitung

- 1) Bitte nennen Sie die 5 Möglichkeiten der Beeinflussung mechanischer Eigenschaften von Kunststoffen durch Aufbereitung.
- Weichmacher (erhöhen die Dehnbarkeit und verringern die Steifigkeit)
 - Innere Weichmacher: Beeinflussung der Beweglichkeit und Bindekräfte zwischen den Ketten (Einpolymerisieren)
 - Äußere Weichmacher: Physikalische Mischung mit meist niedermolekularen Stoffen (z.B.: Wasser)
 - Schlagzähmodifizier (spröden Werkstoffen werden Partikel aus sehr dehnfähigen Werkstoffen „dazugeblendet“)
 - Blend: Physikalische Mischung mit weichen Elastomerpartikeln mithilfe von Haftvermittlern
 - (Block-) Copolymere: Polymerisation eines weichen elastischen Polymers in die Hauptkette eines festen und spröden Polymers
 - Keimbildner (Erhöhung der Anzahl an heterogenen Keimen)
 - Kristallisation setzt früher ein → Zyklusverkürzung
 - Homogenes Gefüge → Verringerung von Schwindung
 - Erhöhung der Transparenz (z.B. bei Folien)
 - Füllstoffe („inaktive“ Füllstoffe; erhöhen das Volumen und verringern den Preis)
 - Erhöhung der Dichte, des E-Moduls, der Härte und der Wärmeformbeständigkeit
 - Reduzierung der Dehnfähigkeit und Zähigkeit (z.B. Quarzmehl, Holzmehl, Kreide; Kalziumkarbonat)
 - Verstärkungsstoffe („aktive“ Füllstoffe; gezielte Verbesserung mechanische oder physikalische Eigenschaften)
 - Fasern: Glasfasern, Kohlenstofffasern, Naturfasern)
 - Nanofüllstoffe: Schichtsilikate, Kohlenstoff-Nanoröhrchen, Silber-Partikel
 - Nachteil ist die dadurch eingebrachte Richtungsabhängigkeit verschieden Eigenschaften
- 2) Bitte nennen Sie 3 typischen Aufgaben der Aufbereitung.
- Einarbeitung von Fasern
 - Einarbeitung von Füllstoffen
 - Schlagzähmodifizierung
 - Reaktive Extrusion
- 3) Bitte nennen Sie die Verfahrenszonen eines Compoundierextruders.
- Einzugszone Feststoff fördern und verdichten, Luft entfernen
 - Plastifizierzone Polymer aufschmelzen, Füllstoff vordispersieren (vorfeinverteilt)
 - Schmelzförderzone Schmelze fördern
 - Distributive Mischzone Verteilen von Feststoffen, Flüssigkeiten in der Schmelze
 - Dispersive Mischzone Zerteilen von Feststoffpartikeln, Flüssigkeitstropfen
 - Entgasungszone Entfernen von Wasser, Restmonomeren, Lösemitteln
 - Druckaufbauzone Druckaufbau zur Überwindung der anstauenden Elemente
- 4) Was bedeutet „spezifische Energie“? Welche Einheit hat sie und wie berechnet man sie?
Auf die Masse bezogene Energie. Charakteristische Größe für jedes Material und unabhängig von der Extrudergröße:
- $$P_{spezif_mech} = \frac{2 * \pi * n * M_d}{\dot{m}} \left[\frac{kWh}{kg} \right]$$
- | | |
|---------|-----------------------------------|
| M_d : | Drehmoment an den Schneckenwellen |
| n : | Drehzahl der Schneckenwellen |
- 5) Bitte nennen Sie die typischen Extruderbauarten.
- Einschneckenextruder
 - Doppelschneckenextruder
 - Mehrschneckenextruder

6) Bitte nenne Sie mindestens vier Zusatzaggregate, die eine Aufbereitungsanlage vervollständigen.

- Dosiersystem
 - Volumetrische Dosiersysteme Volumen pro Zeiteinheit
 - Gravimetrische Dosiersysteme Massenstrom
- Entgasungsanlage
 - Restentgasen von Monomeren, Lösemitteln und Feuchtigkeit
 - Entgasen/Konzentrieren von Polymerlösungen
 - Entgasen von Reaktionsprodukten
 - Entgasen von flüchtigen Bestandteilen während des Aufbereitungsschritts
- Schmelzaustragspumpe
 - Reduzierung der Drucksatzschwankungen
 - Einfaches und schnelles Anfahren der Extrusionsanlage
 - Durchsatzsteigerung, insbesondere für niederviskose Schmelzen
- Schmelzfilter
 - Verunreinigungen in der Kunststoffschmelze trennen oder abführen
 - Verbesserung der Produktqualität
 - Einsatz für das Kunststoffrecycling
- Granulator
 - Heiß- oder Kaltgranulierung: Die Schmelzstränge werden unmittelbar beim Austritt aus der Lochplatte des Extruders durch Luft oder Wasser gekühlt und danach durch rotierende Messer abgetrennt
 - Trocken- und Nassgranulierung Die Schmelzstränge werden unmittelbar beim Austritt aus der Lochplatte des Extruders direkt ins Kühlwasser extrudiert, abgeschnitten und vom Wasserstrom mitgerissen
- Prozessüberwachungstechnik
 - Massentemperatur und -druckmessung
 - Rheometrische Messung

7) Nennen Sie Beispiele der Form zu dosierender Güter.

- Pulver
- Granulat
- Schnitzel
- Schredderteile

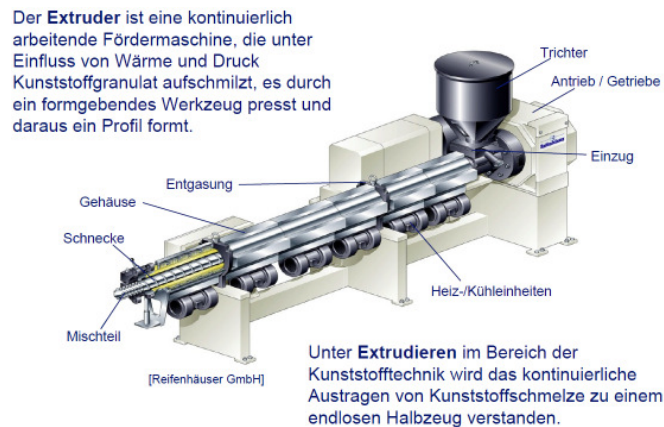
„extrudere“ [lat.] - hinausstoßen, hinausdrücken
Rohstoff wird aufgeschmolzen und kontinuierlich ausgestoßen

Vorlesung 5: Extrusion

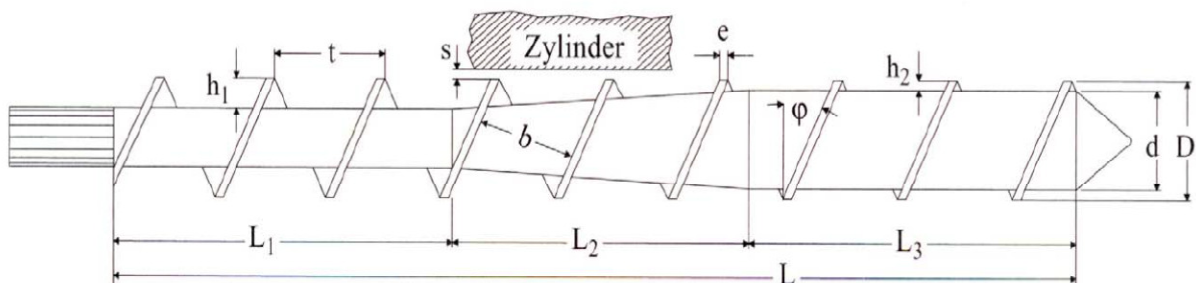
- 1) Was versteht man unter “Compoundieren” und weshalb werden hierzu vor allem Doppelschneckenextruder eingesetzt?
Compoundieren [engl. – compound] – mischen. In der Kunststofftechnik, das Mischen des Polymers mit Zuschlagstoffen zur gezielten Optimierung oder das Mischen verschiedener Polymere.

Doppelschneckenextruder mischen die Schmelze im Gegensatz zu Einschneckenextruder. Diese werden eher zum Schmelzen und Praktifizieren des Werkstoffs verwendet.

- 2) Welche Aufgaben können mittels verschiedener Schneckenelemente bewältigt werden?
 - Fördern
 - Kneten
 - Mischen
- 3) Was versteht man unter Extruder und Extrudieren? Nennen Sie einige Elemente einer Extrudiermaschine.



- 4) Mit welcher Art von Einzugszone (Glattrohr oder Nutbuchse) erhält man bei gleicher Geometrie und gleicher Drehzahl einen höheren Durchsatz? Warum?
Nutbuchse: Das Material wird zwangsgefördert und ist nicht gegendruckabhängig.
- 5) Was passiert, wenn die Einzugszone bei einem Extruder mit genuteter Einzugszone überhitzt?
Das Material beginnt am heißen Zylinder aufzuschmelzen.
- 6) Wie heißen die drei Funktionszonen einer konventionellen Drei-Zonen-Schnecke und welche Aufgabe haben sie?



Einzugszone	Umwandlungs- oder Kompressionszone	Ausstoßzone
• Material aufnehmen • fördern • verdichten • vorwärmen	• alle Zwischenzustände vom Rohzustand bis zur Schmelze	• homogenisieren • Druck aufbauen

7) Wie kann bei einem konventionellen Glattrohretruder die Schmelzehomogenität verbessert werden?
Mit einem Mischteil.

8) Wie verändert sich der Durchsatz bei einem Nutbuchsenextruder wenn der Werkzeugdruck erhöht wird?
Der Durchsatz verändert sich nicht!

9) Wie beeinflussen Bindenähte, die bei der Rohrextrusion entstehen das Bauteilverhalten und wie kann dies konstruktiv ausgeglichen werden?
An der Bindenaht zeigt das Bauteil eine deutliche Schwächung von mechanischen Eigenschaften. Rohre haben an diesen Bindenähten die geringsten Festigkeiten.

Ein Doppelstegextruder kann dies ausgleichen. Dieser hat keine durchgehenden Stegmarkierungen, da die Stege versetzt angeordnet sind.

10) Welche Nachteile bezüglich ihrer mechanischen Eigenschaften haben Vollprofile?

- Lunker
- Eigenspannungen

11) Wann nutzt man zur Folienherstellung eher eine Breitschlitzdüse und wann eher ein Blasfolienverfahren?

Breitschlitzdüse	Blasfolienverfahren
Platten und Flachfolien	Schlauch- und Blasfolien (z.B. Müllsäcke)

12) Was ist die sogenannte Frostlinie?
Als Frostlinie wird die Grenze zwischen thermoplastischem und thermoelastischem Zustand während der Abkühlung bezeichnet. (bei teilkristallinen Kunststoffen)

13) Welches Verfahren eignet sich, um Bobby Cars aus Kunststoff herzustellen?

- Blasformen

14) Warum kann durch Anwendung eines Co-Extrusionsverfahrens Geld gespart werden?

- teure Schicht dünn / billige Schicht dick auftragen
- weniger Prozessschritte nötig für Endprodukt (z.B. Kabelproduktion)

15) Was ist das wesentliche Konstruktionsmerkmal eine HELIBAR®- Hochleistungsextruders?

- Durchgehend genuteter Zylinder (Axial- oder Wendelnut)
Schnecke 2-gängig → Schmelzekanal / Feststoffkanal

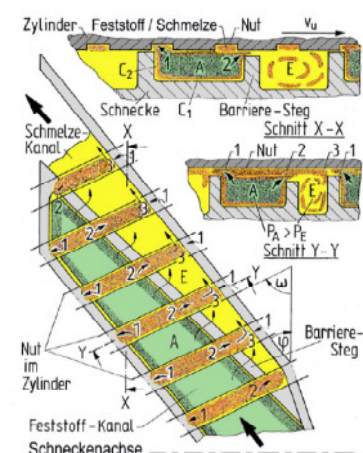
16) Warum reicht beim HELIBAR®-Hochleistungsextrusionssystem normalerweise eine passive Luftkühlung in der Einzugszone?
Das HELIBAR®-Hochleistungsextrusionssystem hat im Einzugsbereich keinen hohen Energieeintrag.

17) Die Schmelzetemperatur ist beim HELIBAR®- Hochleistungsextrusionssystem meist niedriger, als bei vergleichbaren Nutbuchsenextrudern. Warum ist das so?
Dünne Schmelzfilme am Zylinder verbessern den Wärmetransport in den Feststoff.

- effektive Nutzung der Heizenergie
- hohe Aufschmelzraten möglich

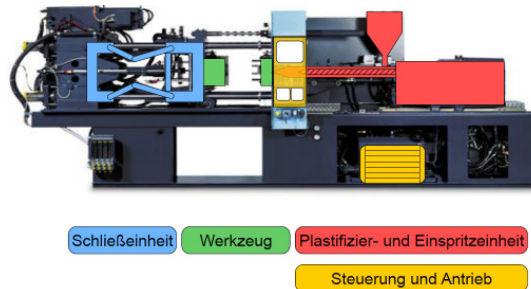
HELIBAR®-Plastifizierprinzip

Förderung und Druckaufbau: Das Einpressen der Schmelze in die Nuten (1- 2) und das Verhaken des Feststoffs an den Nutkanten (1) erzeugen einen dünnen Schmelzefilm an der Zylinderwand, hohe Schubkräfte auf den Feststoff A und damit hohe Pumpleistung im Feststoffkanal



Vorlesung 6: Spritzgießen

- 1) Wann rentiert sich ein Spritzgießprozess?
Wenn große Serien, bzw. große Stückzahlen gefertigt werden.
- 2) In welchem Temperaturbereich spielt sich ein Thermoplast-Spritzgießprozess ab?
200 °C – 300 °C !!! (bei Duromeren anders)
- 3) Aus welchen Hauptkomponenten besteht eine Spritzgießmaschine?

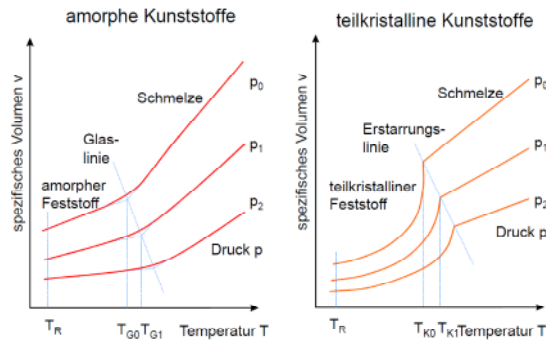


- 4) In welche Phasen unterteilt sich ein Spritzgießzyklus?



- 5) Welche Phase nimmt die meiste Zeit in Anspruch und bietet daher das größte Optimierungspotential?
 - Kühlzeit
- 6) Welche physikalischen Effekte treten während der Formfüllung beim Spritzgießen auf?
 - p Druck
 - v spezifisches Volumen
 - T Temperatur
- 7) Wofür wird die sogenannte Nachdruckphase in einem Spritzgießprozess benötigt?
Durch den Nachdruck wird Schmelze in der Kavität komprimiert und nachgeschoben. Dadurch kann der Volumenkontraktion beim Abkühlen (Schwindung) entgegengewirkt werden!
- 8) Wie lange kann der Nachdruck wirken?
Der Nachdruck kann so lange wirken, bis der Anguss eingefroren ist.

- 9) Wie unterscheidet sich die Volumenkontraktion beim Abkühlen bei amorphen und teilkristallinen Thermoplasten?



- 10) Was versteht man unter den Begriffen „Verarbeitungsschwindung“, „Nachschwindung“ und „Gesamtschwindung“?

Gesamtschwindung: Die Gesamtschwindung eines Formteils setzt sich aus der Verarbeitungsschwindung und der Nachschwindung additiv zusammen.

Verarbeitungsschwindung: Im Spritzgießwerkzeug beginnt das abkühlende Formteil zu schwinden. Dieser Vorgang setzt sich auch nach dem Entformen fort. Die Maßänderung bis zum Erreichen des thermodynamischen Gleichgewichts bei Umgebungstemperatur bezeichnet man als Verarbeitungsschwindung.

Nachschwindung: Auch nach dieser Zeit schwindet das spritzgegossene Formteil weiter, beispielsweise bei teilkristallinen Thermoplasten infolge von Nachkristallisation. Dieser Vorgang kann durch Lagerung der Formteile in Temperöfen beschleunigt werden und wird als Nachschwindung bezeichnet.

- 11) Warum wird das Plastifizieraggregat vor bzw. nach dem Plastifizieren von der Angussbuchse abgehoben?

Die im Schneckenorraum gespeicherte Schmelze wird durch die Düse in das Werkzeug eingespritzt. Außerhalb der Einspritzphase, und besonders in der Dosierphase, soll kein Material aus der Düse austreten.

sognannte „offene Düse“: Schmelze dringt beim Plastifizieren nicht aus, weil die Düse noch am Werkzeug anliegt.

Erst nach dem Plastifizieren hebt die Einspritzeinheit mit Düse drucklos von Werkzeug ab, um das Werkzeug nicht weiter zu erwärmen.

- 12) Welche Aufgaben hat das Plastifizier- und Einspritzaggregat einer Spritzgießmaschine?

- Fördern, aufschmelzen und homogenisieren des Kunststoffs
- Speichern der Kunststoffschmelze
- Einspritzen der Kunststoffschmelze in der Werkzeug
- Nachdrücken zur Schwindungskompensation des Formteils

- 13) Welche Bauformen von Verschlussdüsen gibt es?

- fremdbetätigt
- federbetätigt

- 14) Wozu wird eine Rückströmsperre benötigt?

Die Rückströmsperre soll verhindern, dass trotz des hohen Drucks (bis ~2500 bar) während des Einspritzens und Nachdrückens Schmelze vom Vorraum zurück in die Schneckengänge gedrückt wird; sie muss geschlossen sein.

Während des Dosiervorgangs hingegen muss die Schmelze möglichst ungestört in den Schneckenorraum gelangen, die Rückströmsperre muss sich öffnen.

- 15) Sie möchten einen Fahrradsattel im Spritzgießverfahren herstellen. Berechnen Sie die mindestens benötigte Zuhaltkraft und die benötigte Kühlzeit.

Projizierte Bauteilfläche in Schließrichtung	21040 mm ²
Formteildicke	3 mm
Max. Schmelzedruck	380 bar
Schmelzetemperatur	240 °C
Werkzeugtemperatur	40 °C
Entformungstemperatur	80 °C
Temperaturleitfähigkeit der Schmelze	9,2·10 ⁻² mm ² /s

$$F_Z = p \cdot A$$

$$F_Z = 38 \text{ [N]}$$

F_Z	[N]	Zuhaltkraft
p	[Pa]	Schmelzdruck
A	[m ²]	Bauteilfläche

$$t_K = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right)$$

$$t_K \approx 1,68 \text{ [s]}$$

t_K	[s]	Kühlzeit
s	[mm]	Dicke des Formteils
T_M	[°C]	Schmelztemperatur
T_W	[°C]	Werkzeugtemperatur
T_E	[°C]	Entformungstemperatur
a_{eff}	mm ² /s	effektive Temperaturleitfähigkeit

- 16) Welche Varianten des Mehrkomponenten-Spritzgießens gibt es?

- Thermoplast/Elastomer-Spritzguss
- **Sandwichspritzguss**
- Montagespritzgießen
- **Verbundspritzgießen** (Hart – Weich, Mehrfarbig)
- **Intervallspritzgießen** (optisch)

- 17) Ordnen Sie die gezeigten Teile einem Spritzgieß-Sonderverfahren zu, mit dem das Teil hergestellt werden kann

- 18) Wodurch erfolgt der Schwindungsausgleich beim Spritzprägen?

- Werkzeug
- Prägehub

- 19) Welche Vorteile hat das Spritzprägeverfahren? (im Vergleich zum Spritzgießen)

- Schwindungsausgleich erfolgt wesentlich früher und gleichmäßig in Prägerichtung
- wenige Orientierungen
- Nachdruck gleichmäßig
- spannungsarme Bauteile

- 20) für optische Bauteile?

- schonendes Verfahren
- wenig Orientierungen
- spannungsarm

- 21) Wie kann sich eine in das Werkzeug eingelegte und hinterspritzte Folie oder Dekormaterial auf die Maßhaltigkeit des Bauteils auswirken?

- die Folie oder Teile davon bleiben am Bauteil kleben
- Verzug des Bauteils (da Folie kälter als eingespritzter Stoff)

- 22) Nennen Sie Vor- und Nachteile des Schaum-Spritzgießverfahrens:

Vorteile	Nachteile
• Gewichtsreduktion • dickwandige Teile • Reduktion von Schwindung und Verzug • Vermeidung von Einfallstellen • niedrige Einspritzdrücke • kürzere Kühlzeiten	• aufwendige Prozessführung • geringe Oberflächenqualität

23) Mit welchen Parametern kann man die Schaumstruktur beschreiben?

- Dichte
- Randschichtdicke
- Zellgrößen-/Verteilung
- Zellorientierung
- Struktureigenschaften über dem Fließweg

24) Was kann die Schaumstruktur beeinflussen?

Verfahrensvariante	Material / Treibfluid	Prozess
• Konventionelles Thermoplast Schaumgussverfahren • „atmendes“ Werkzeug	• Polymer • Treibfluid	• Schmelztemperatur • Einspritzgeschwindigkeit • Dosiervolumen • Werkzeugtemperatur • Treibfluidbeladungsgrad

25) Spritzgießcompounder:

Welche Vorteile bieten Direktverarbeitungsverfahren gegenüber Zweistufenprozessen?

- geringe Faserschädigung
- geringere thermische Belastung der Schmelze
- bessere mechanische und thermische Eigenschaften des Produktes
- Einsparung von Energie, Lagerkapazität, Verpackungsmaterial, etc.
- Kostenvorteile der Rohstoffe gegenüber fertigen Compounds

26) Einsatz von Organoblechen in Spritzgießbauteilen:

Überlegen Sie sich weitere Anwendungen, in denen Sie Organobleche zur Verstärkung hochbelasteter Kunststoffbauteile einsetzen würden.

- Ski-/Snowboardbindung
- Schuhe
- Helm (Ski, Fahrrad,...)
- Orthese

27) Welche Anforderungen werden an Getränkeverpackungen gestellt?

- Transparenz
- Fall- /Bruchfestigkeit
- Druckfestigkeit
- Leichtgewicht
- Wiederverschließbarkeit
- Geschmacksneutral
- Gestaltungsfreiheit
- Recyclingfähigkeit

28) Welche Unterschiede gibt es zwischen dem Blasform- und dem Streckblasverfahren?

Blasformverfahren	Streckblasverfahren
• Butzen • extrudierter Schlauch wird beidseitig abgeschnitten und in eine Blasform übergeben. Nur in 2 Dimensionen gestreckt.	• Keine Butzen • Exakte Kontur in Gewinde und Hohlkörperbereich • Verformling wird in 3 Dimensionen gesreckt

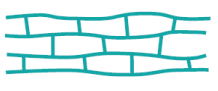
29) Warum können kohlensäurehaltige Getränke nicht in blasgeformten Flaschen verpackt werden?

Blasgeformte Flaschen haben keine hohe Druckfestigkeit.

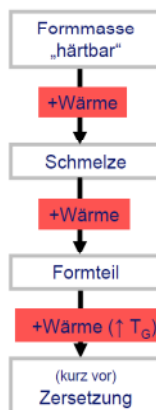
Kautschuk ist ein unvernetztes, amorphes oder kristallines Polymer. Nach chemischer Vernetzung (Vulkanisation) von Kautschuk erhält man „Elastomer“.

Vorlesung 7.1: Verarbeitung vernetzender Polymere

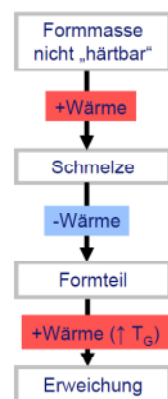
1) Nennen Sie einige Basiseigenschaften vernetzender Kunststoffe.

	Lineare Kettenmoleküle	Thermoplaste (amorph, teilkristallin)	schmelzbar löslich bei RT weich- bis hart-zäh oder hart-spröde
	verzweigte Kettenmoleküle		
	schwach vernetzte Kettenmoleküle	Elastomere	nicht schmelzbar quellbar unlöslich bei RT im elastisch weichen Zustand
	stark vernetzte Kettenmoleküle	Duroplaste	nicht schmelzbar nicht quellbar nicht löslich bei RT im allg. hart

vernetzende Kunststoffe



thermoplastische Kunststoffe



- gutes elektrisches und thermisches Isolationsvermögen
- hohe Festigkeit, Steifigkeit und Oberflächenhärte
- hohe Dimensionsstabilität, kleine thermische Ausdehnungskoeffizient
- hohe Temperatureinsatzgrenzen
- hohe Medienbeständigkeit, keine Spannungsrisskorrosion
- günstiges Brandverhalten ohne Flammschutzmittel
- Sicherheitsreserven bei Temperaturspitzen

2) Nennen Sie Besonderheiten beim Spritzgießen von vernetzenden Kunststoffen (unterschied zum Thermo-Spritzgießen).

- Schnecke ist gegengekühlt
- Werkzeug ist beheizt
- Formgebung und Vernetzung in einem Verarbeitungsschritt (laufen fast gleichzeitig ab)
- Vernetzung dauert wenige Minuten bei Temperaturen von meist 180 °C – 200 °C
- Die Rohstoffe sind beschränkt lagerfähig. Sie können durch Vorvernetzung oder durch Feuchtaufnahme inaktiv werden.

3) Nennen Sie die 4 Prozessschritte beim Pressen von Duroplasten.

- (1) Beschicken
- (2) Pressen
- (3) Ausdrücken; Abstreifer fährt ein
- (4) Abstreifen

4) Nennen Sie 4 unterschiedliche Schaumarte.

- Hartschaum (Wärmeisolierung, Schutzhelme)
- Weichschaum (Sitzmöbel, Matratzen)
- Kompaktschaum (Sanitärteile, Gehäuseteile)
- Integralschaum (Armlehnen, Lenkräder, Schaltknäuf)

5) Geben Sie eine Übersicht über Schaumstoffe wieder, in dem Sie Merkmale, Vor- und Nachteile aufzählen.

- Niedrige Dichte
- zellige Struktur

Vorteile	Nachteile
• Steifigkeitsgewinn • Energieabsorption • Materialeinsparung • Dämmeigenschaften	• Festigkeitsverlust • Oberflächenmangel • Eigenschaftsvorhersage • Qualitätssicherung

6) Welche Möglichkeiten sehen Sie die Eigenschaften von Polyurethan zu beeinflussen?
Durch die Wahl der

- Grundkomponente
- der Hilfs- und Zusatzstoffe
- der Art des Schäumprozesses

können die Eigenschaften in weiten Bereichen variiert werden. Der Werkstoff entsteht dabei während der Verarbeitung.

Außerdem kann er durch Zusatzstoffe beeinflusst werden:

- Fasern, Mineralmehl
- Farbstoffe
- Flammschutzmittel

7)

SMC / BMC

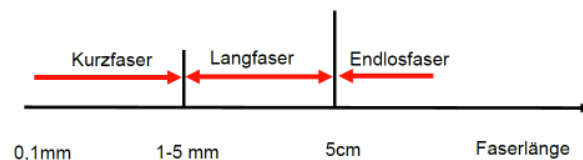
Kohlenstofffasern möglichst dicht an Lastrichtung orientieren, da Steifigkeit und Festigkeit exponentiell mit dem Belastungswinkel abnehmen.

Vorlesung 7.2: Einführung in die Faserkunststoffverbunde

- 1) Warum ist die Kohlenstofffaser so „gut“?
 - starke kovalente Bindungen
 - höheres E-modul und höhere Zugfestigkeit als Stahl in Faserrichtung
 - niedrige Dichte
- 2) Polymere sind die Matrix für Faserkunststoffverbunde. Welche Aufgaben übernehmen sie?

Die Matrix

 - gibt der Struktur die Form,
 - hält die Fasern zusammen,
 - ermöglicht Kraftübertragung zwischen den Fasern,
 - verteilt Lastspitzen,
 - hält die Fasern auf Abstand und
 - schützt sie vor mechanischer und chemischer Schädigung.
- 3) Wie ist die Länge von Fasern (Kohlenstofffaser) eingeteilt.



Endloskohlenstofffasern = Rovings

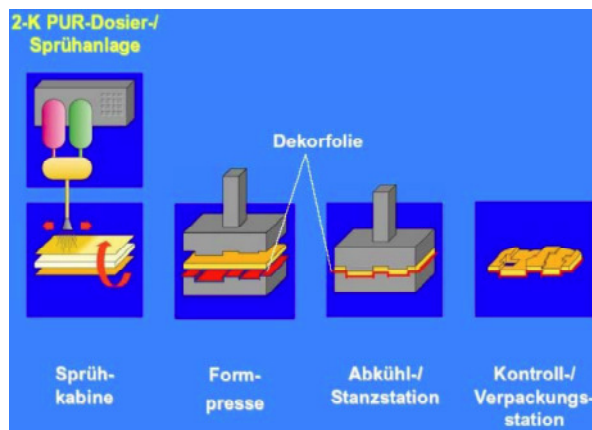
- 4) Wie werden Faserkunststoffverbunde mit kurzen Fasern verarbeitet?

Extrudiert → Spritzgießen
- 5) Wie werden Faserkunststoffverbunde mit langen Fasern verarbeitet?

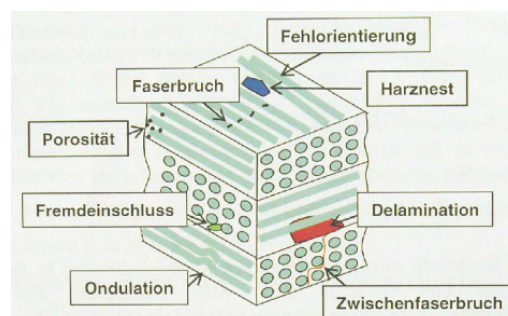
Sheet Molding Compound (SMC)

Im Pressvorgang werden Halbzeug Zuschnitte bei hohen Temperaturen polymerisiert.

Reinforced Reaction Injection Moulding (RRIM)



- 6) Welche Defekte können in Faserkunststoffverbunden auftreten?



Faserkunststoffverbunde sind im Gegensatz zu Metall nicht duktil. D.h. keine plastische Verformung bei Lastspitzen. Beule federt bei Lastwegnahme zurück. Keine bleibenden Beulen nach Schlagschäden. Impakterkennung schwierig.

Vorlesung 8: Weiterverarbeitung

- 1) Bei der Halbzeugerwärmung mittels Strahlungsheizung erhöht sich die Temperatur an der Halbzeugoberfläche schneller als in der Halbzeugmitte (Bild). Wie muss die Wärmestromdichte durch die Strahler verändert werden, wenn
- die Halbzeugdicke erhöht wird,
 - der Umformtemperaturbereich nach oben verengt wird,
- ohne die kritische obere Umformtemperatur an der Halbzeugoberfläche zu überschreiten?

Halbzeugdicke erhöhen $\Leftrightarrow$ Wärmestromdichte erniedrigen
 Umformtemperaturbereich nach oben verengt wird $\Leftrightarrow$

- 2) Worin liegt der Unterschied, ob beim Thermoformen mittels Vakuum oder mittels Druckluft ausgeformt wird?
 Bei einem Vakuum beträgt der maximale Ansaugdruck 1 bar. Mit Druckluft können viel höhere Drücke erreicht werden.

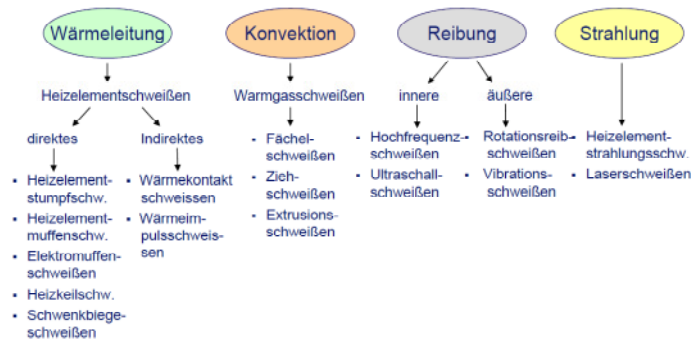
- 3) Mit welchem Verfahren wurde der linke, mit welchem der rechte Becher hergestellt? Begründen Sie Ihre Antwort kurz.



Links: Thermoformen

Rechts: Spritzgießen; erkennt man am Hinterschnitt an der Unterseite des Bechers

- 4) Geben Sie an, bei welchen Anwendungen eine mechanische Bearbeitung von Kunststoffteilen notwendig sein kann.
- Nachbearbeiten von Formteilen (z.B. Entgraten, Bohren)
 - Zuschneiden von Halbzeugen
 - Herstellung massiver Bauteile (z.B. Modellbau, Zahnräder)
 - Herstellung von Probekörpern für die Schadensanalyse
- 5) Nach welchen Wärmeübertragungsarten lassen sich Schweißverfahren für Kunststoffbauteile einteilen? Geben Sie jeweils ein Beispielverfahren an.



- 6) Ultraschallschweißen und Vibrationsschweißen zählen zu den Reibschweißverfahren. Erläutern Sie den Unterschied bei der Wärmeerzeugung in der Schweißnaht.

Ultraschallschweißen

Schallenergie wird durch ein Transformationsstück über eine Sonotrode in die Fügeebene eingebracht. Durch innere Dämpfung wird der eindringende Schall in Wärme umgewandelt und das obere Fügeteil angeschmolzen.

Vibrationsschweißen

Die Fügeteile werden durch Reibbewegung erwärmt und plastifiziert.

- linear
- biaxial

- 7) Warum spricht man beim Laserstrahlschweißen in der Kunststofftechnik häufig auch vom Laserdurchstrahlschweißen?

Die Energie wird durch einen für die Laserstrahlung transparenten Fügepartner direkt in die Fügeebene eingebracht. Der Laser strahlt „durch“ diesen Fügepartner.

Durch Absorption der Laserstrahlung wird das absorbierende Fügeteil aufgeschmolzen. Das transparente Fügeteil wird dann durch Wärmeleitung geschmolzen.

- 8) Erläutern Sie kurz den Unterschied zwischen mechanischer & spezifischer Adhäsion.

mechanische Adhäsion	spezifische Adhäsion
Haftung durch Verklammerung von Klebstoff und Fügeteiloberfläche	Haftung durch Ausbildung zwischenmolekularer Kräfte • Dipole • Dispersionen • Wasserstoffbrückenbindung (wirkt nur auf wirksamer Oberfläche; Polarität wichtig)

- 9) Kunststoffteile zeichnen sich häufig durch eine hohe Funktionsintegration aus. Begründen Sie diese Aussage am Beispiel von Schnapphaken.

Schnapphaken sind eine integrierte Funktion, da in Bauteilen noch eine lösbare bzw. unlösbare Verbindungen zusätzlich zum eigentlichen Nutzen integriert. Sie ersetzen somit konventionelle Fügeverfahren wie Schrauben, Kleben und Schweißen. Dadurch werden Kosten und Zeit im Produktionsprozess gespart.

- 10) Nennen Sie Gründe Kunststoffoberflächen zu behandeln und die zugehörigen bedeutende Beschichtungsverfahren.

Die Beschichtung von Oberflächen dient der Verbesserung der Bauteileigenschaften hinsichtlich:

- Benetzung
- Kratzfestigkeit
- Barrierewirkung
- Haptik
- Ästhetik
- Leitfähigkeit
- Reibung

Um die genannten Oberflächeneigenschaften zu erzielen, existieren je nach Eigenschaft unterschiedliche Beschichtungsverfahren. Bedeutende Beschichtungsverfahren sind:

- Bedampfen
- Galvanisieren
- Lackieren
- Bedrucken
- Kaschieren
- Beflocken

Vorlesung 9: Konstruieren mit Kunststoffen

1) Nennen Sie einige werkstoffspezifische Charakteristika von Kunststoffen.

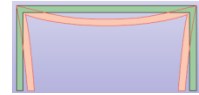
Dichte - sehr gering: 0,8 bis 2,2 g/cm³ - erlaubt Produkte mit geringen Massenkraften (Gewichtskraft, Trägheitskraft) - leicht beeinflussbar durch Füllstoffe	Steifigkeit (Widerstand gegen Verformung) - eher gering - erlaubt Produkte mit Dichtfunktion und Schutz vor stoßartigen Belastungen - erlaubt Funktionselemente wie Filmscharniere und Schnapphaken - kann durch Fasern im Werkstoff oder konstruktiv (Rippen) gesteigert werden - beeinflussbar durch Temperatur, Füll- und Verstärkungsstoffe, Zeit, Feuchte	Dehnfähigkeit - sehr hoch - erlaubt höhere mech. Energieaufnahme durch z.B. Stoß - erlaubt höhere Toleranzen - beeinflussbar durch Temperatur, Zeit, Füllstoffe, Medien, ...	Festigkeit (Widerstand gegen Rissbildung) - gering - erlaubt Sollbruchstellen - kann durch Fasern im Werkstoff gesteigert werden - beeinflussbar durch Temperatur, Zeit, Verstärkungsstoffe, Feuchte, ...
Elektr. Eigenschaften - niedrige elektrische Leitfähigkeit - erlaubt elektrische Isolation - erlaubt Durchdringen elektromagnetischer Wellen - ermöglicht elektrostatische Aufladung der Produkte - beeinflussbar durch Temperatur, Füllstoffe, Feuchte ...	andere Eigenschaften - teils hohe Transparenz - teils sehr chemikalienresistent - teils hohe Härte (korreliert mit Steifigkeit) - für manche Gase und Flüssigkeiten durchlässig - nicht magnetisch - keine Oberflächen-Korrosion - teils antihaftend und gut gleitend	Innere Dämpfung - hoch - erlaubt Dämpfung von Schall und Vibrationen - erlaubt höhere Lebensdauer von Lagern und Zahnrädern - kann zu Erwärmung bei Belastung führen - beeinflussbar durch Temperatur, Füll- und Verstärkungsstoffe, ... Wärmeausdehnung - hoch - erzwingt große Toleranzen zw. großflächigen Bauteilen, insbes. bei Metall/Kunststoff-Verbunden - beeinflussbar durch Temperatur, Füll- und Verstärkungsstoffe, ...	Gebrauchstemperatur - begrenzt - Festigkeit und Steifigkeit sinken rapide mit höherer Temperatur - ermöglicht erst die wirtschaftlichen Herstellprozesse der Kunststoffverarbeitung - beeinflussbar durch Füll- und Verstärkungsstoffe, ... Wärmeleitfähigkeit - gering - erlaubt Wärmeisolation - erzwingt aufwendige Kühlung der Schmelze bei der Herstellung - beeinflussbar durch Temperatur, Füll- und Verstärkungsstoffe, ...

- 2) Wofür werden Rippen in Kunststoffbauteilen eingesetzt?
Massenanhäufungen sind schlecht für das Bauteil, aufgrund vieler Eigenspannungen und langer Abkühlzeiten. Rippen ersetzen diese Massenanhäufungen und haben auch noch den Vorteil die Steifigkeit des Bauteils zu erhöhen und gleichzeitig das Gewicht und die Kühlzeit zu reduzieren.
- 3) Sind Rippen in einem Kunststoffbauteil ein teures Gestaltungselement?
Nein, sie sind ebenso wie Schnapphaken und Schraubdome kostengünstige Funktionselemente.
- 4) Was muss man bei der Rippengestaltung beachten?
- Einfallstellen
 - übermäßige Radien
 - übermäßige Rippenwanddicke
 - Lunker
- 5) Was muss auf der Rückseite von Rippen beachtet werden?
Auf der Rückseite von Rippen entstehen Einfallstellen, durch einen Schwindungsprozess während des Abkühlens und führen zu Eigenspannungen zu Bauteil. Einfallstellen sollten vermieden werden.
- 6) Wie kann man diese Erscheinung reduzieren?
- Waddicken-Rippenverhältnis optimieren
 - Waddickenreduzierung im Übergangsbereich
 - Anspritzpunkte an den großen Waddicken ansetzen
 - Massenanhäufungen reduzieren
 - Schmelze nachdrücken bis Anguss angeschmolzen ist
- 7) Werden Schnapphaken eher nach einer Grenzdehnung oder nach einer Grenzspannung ausgelegt?
Grenzdehnung
- 8) Werden Filmscharniere eher nach einer Grenzdehnung oder nach einer Grenzspannung ausgelegt?
Grenzdehnung

9) Wodurch entstehen Eigenspannungen in einem Bauteil?
Dadurch, dass das Bauteil an manchen Stellen langsamer abkühlt verzieht es sich beim Abkühlvorgang, da Temperaturunterschiede zu groß sind. Durch diesen Verzug entstehen Eigenspannungen.

10) Wodurch entsteht Verzug in einem Bauteil?
Dadurch, dass das Bauteil an manchen Stellen langsamer abkühlt verzieht es sich beim Abkühlvorgang, da Temperaturunterschiede zu groß sind.

11) Was ist der sog. Eckenverzug?
Ungleichmäßiges Abkühlen im Eckenbereich führt zu Eigenspannungen →



12) Wie kann ich Verzug reduzieren? (prozesstechnisch / geometrisch)

prozesstechnische Verzugreduzierung	geometrische Verzugreduzierung
• langsames Abkühlen • Schmelze nachdrücken • kontrolliertes Abkühlen mit Kühlstäben auf Innen- und Außenseite • niedrige Auswurftemperatur	• gleichmäßige Wanddicke • Versteifungselemente • innen freistechen • scharfkantige Außenecke

13) Wie kann ich Eckenverzug reduzieren? (prozesstechnisch / geometrisch)

prozesstechnische Verzugreduzierung	geometrische Verzugreduzierung
• langsames Abkühlen • Schmelze nachdrücken • kontrolliertes Abkühlen mit Kühlstäben auf Innen- und Außenseite	• gleichmäßige Wanddicke • Waddickenreduzierung im Eckenbereich • innen freistechen • scharfkantige Außenecke

14) Was muss in der Umgebung von Schraubtuben beachtet werden?

- keine Materialanhäufungen
- übermäßige Basisradien vermeiden
- Kernloch darf nicht zu kurz gestalten
→ Eigenspannungen, Einfallstellen

15) Wie kann man diese Erscheinung reduzieren?

- große Materialanhäufungen vermeiden
- große Waddicken vermeiden
- Schraubdom mit Rippen am Rand befestigen
- freistehende Vorsprünge

16) Eigenspannungen können auch aufgrund von Schwindungsbehinderung auftreten. Bitte erläutern Sie dies anhand eines Metall-Kunststoff-Verbunds.
Dadurch, dass das Metall und der Kunststoff verschiedene Kühlgeschwindigkeiten haben kommt es zur Dehnbehinderung. Die Spannungen durch das Abkühlen des einen Werkstoffes auftreten, beeinflusst auch den anderen. Es findet sozusagen eine gebundene Schwindung statt.

17) Zählen Sie die Regeln für die werkstoffgerechte und fertigungsgerechte Auslegung von spritzgegossenen Kunststoffbauteilen auf.

- Wanddicke so gering wie möglich, um eine geringe Zykluszeit zu realisieren. Hierbei muss allerdings die Fließfähigkeit des einzusetzenden Materials mit berücksichtigt werden.
- Gleiche Waddicken vorsehen/Masseanhäufungen vermeiden, damit Abkühlen und Schwindung gleichmäßig, sowie Lunker und Verzug vermieden.
- Ecken und Kanten mit Radien vorsehen, für guten Materialfluss, gute Entformung sowie geringere Kerbspannungen.
- Rippen spritzgießgerecht gestalten zur Einfallstellenvermeidung auf der Rückseite.
- Ausreichende Konizitäten vorsehen für gute Entformung.

- Hinterschneidungen vermeiden für möglichst einfaches Werkzeugkonzept.
- Die Positionierung des Angusses beachten, um wenig Bindenähte, geeignete Orientierung und gleichmäßige Fließwege zu erreichen.
- Gewinde/Formteile spritzgießgerecht gestalten, um Nachbearbeitung zu vermeiden.
- Schweißnähte etc. angemessen berücksichtigen.

Vorlesung 10.1: Schadensanalyse

1) Können Sie die Begriffe

- Schaden
- Fehler und
- Primärschaden

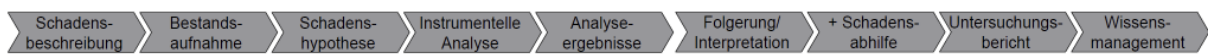
erklären und voneinander abgrenzen?

Schaden: Veränderung an einem Produkt, durch die eine oder mehrere seiner vorgesehenen Funktionen wesentlich beeinträchtigt gemacht werden.

Fehler: Abweichung einer Eigenschaft vom Sollzustand, die noch nicht zur maßgeblichen Einschränkung von Funktionen führt

Primärschaden: Zeitlich zuerst eingetretener Schaden, der Ursache für Folgeschäden ist. (Ziel der Schadensanalyse)

2) Können Sie die einzelnen Schritte der Schadensanalyse in richtiger Reihenfolge wiedergeben?



(Wichtigstes hier nicht aufgelistetes Element der Schadensanalyse ist die **Erfahrung und das Wissen** der Untersuchenden!)

3) Nennen Sie 4 mögliche Schadensursachen, sowie 3 Methoden um Schadensursachen festzustellen.

Schadensursachen	Methoden um Schadensursachen festzustellen
• Fehler durch Konstruktion • Fehler durch Verarbeitung • Fehler durch Werkstoff • mechanische Überbeanspruchung	• fotografische Dokumentation • einem Lichtmikroskop • Hochauflösende mikroskopische Verfahren • Methoden der thermischen Analyse • Spektroskopische Methoden • Rheometrische / viskosimetrische Methoden • Chromatografische Methoden • Methoden der mechanischen Prüfung

Vorlesung 10.2: Alterung von Kunststoffen

1) Wie ist Alterung definiert?

Die Alterung wird als „Gesamtheit aller im Laufe der Zeit in einem Material irreversibel ablaufenden chemischen und physikalischen Vorgänge“ definiert (DIN 50035).

- Durch Alterung verändern Polymere ihre Werkstoffeigenschaften im Laufe der Zeit. D. h. die Alterung fängt schon bei der Kunststoffverarbeitung an.
- Für Prüfzwecke wird eine Alterung oft künstlich herbeigeführt, um auf einen Zusammenhang zu kommen, der die tatsächliche Lebensdauer einschätzen lässt.

2) Sie sollen eine Rohrleitung zum Transport einer Chemikalie aus Kunststoffen konstruieren. Welche Anforderungen werden aus Sicht der Beständigkeit an den Kunststoff gestellt?

- chemikalienresistent (Beständigkeit gegen Medienangriff)
- Permeation → Sorption (Stoff darf nicht in / durch Schlauch)

3) Sie räumen Ihre Spülmaschine aus und finden eine Schüssel die mit Rissen übersät ist. Was ist passiert? Beschreiben Sie die einzelnen Vorgänge der Rissentstehung.

In der Spülmaschine steht die Schüssel in Kontakt mit heißem Wasser, Spülmittel, Schmutzgemisch (heißes Medium). Spannungsrißbildung ist aufgetreten.

Durch die Temperatureigenspannungen haben sich an möglichen Fehlstellen (Kratzer, Riefen) Crazes gebildet. Das Medium diffundiert bevorzugt an den Crazes in den Kunststoff ein und reduziert dort die zwischenmolekularen Kräfte. Die Reduzierung der zwischenmolekularen Kräfte in Verbindung mit den immer vorhandenen Eigenspannungen führt schließlich zu einer Rissentstehung.

4) Erläutern Sie die 3 Begriffe

- Alterungsursachen
- Alterungsmechanismen
- Alterungserscheinungen.

Alterungsursache:

Energiezufuhr durch Wärme oder Strahlung
Temperaturwechsel
chemische Einflüsse
mechanische Einflüsse
Kombinationen aus obigen

Äußere Alterungsursache	Innere Alterungsursache
Alterungsvorgänge durch chemische und physikalische Einwirkungen der Umgebung	Thermodynamisch instabile Zustände führen zu Alterungsvorgängen, die ohne chemische und physikalische Einwirkungen der Umgebung ablaufen (z.B. Nachvernetzung / Nachkristallisation)

Alterungsmechanismus:

chemisch (intramolekular, Hauptvalenz)

- Kettenspaltung
- Depolymerisation
- Kettenausbreitung
- Vernetzung
- Kettenverzweigung

physikalisch (intermolekular, Nebenvalenz)

- Molekülbeweglichkeit
- Ausdehnung
- Nachkristallisation
- Quellen
- Lösen
- Spannungsrißbildung

mechanisch

- Kriechen
- Ermüdung
- Abrieb

mechanische Mechanismen

Einfluss	Auswirkung	Messgrößen
Statisch	Kriechen 	Dehnung Versagenszeit
Dynamisch	Ermüdung 	Lastwechsel Festigkeit
Verschleiß	Abrieb 	Dimension Oberfläche

chemische Mechanismen

Einfluss	Auswirkung	Messgrößen
Wärme	Kettenspaltung 	Molekulargewicht Zähigkeit/Festigkeit
	Depolymerisation 	Gewicht Zähigkeit/Festigkeit
Oxidation	Kettenausbreitung 	Steifigkeit Zähigkeit, OIT
	Kettenverzweigung 	
Strahlung Licht	Vernetzung 	Molekulargewicht, Steifigkeit
	Kettenspaltung 	Festigkeit, Zähigkeit, Optik
Medium	Kettenspaltung (z. B. Hydrolyse) 	Molekulargewicht Zähigkeit/Festigkeit
	Vernetzung 	Molekulargewicht Steifigkeit/Zähigkeit

physikalische Mechanismen

Einfluss	Auswirkung	Messgrößen
Wärme	Molekülbeweglichkeit, Ausdehnung 	Steifigkeit/Festigkeit Dimension
	Nachkristallisation 	Kristallinität (Morphologie)
Medium	Quellen Lösen 	Mechanik Härte
	Spannungsrißbildung 	Zeitstandfestigkeit

Alterungserscheinung:

Versprödung
Verfärbung / matt werden
Spannungsrißbildung
Kriechen
Festigkeitsreduzierung
Quellen
Nachschwindung

5) Nennen Sie einige Schutzmaßnahmen gegen Alterung.

- Erhöhung der Eigenstabilität
 - Modifizierung der chemischen Struktur
 - Blockierung labiler Endgruppen
 - Ordnungszustände
- Stabilisatoren
 - Radikalfänger (primäre Antioxidantien)
 - Schutz vor Sauerstoff und Wärme (führen zum Abbruch der Kettenreaktion)
 - Costabilisatoren (sekundäre Antioxidantien)
 - Wirksamkeit der primären Stabilisatoren verbessern
 - Lichtschutzmittel
 - UV-Absorber
 - Quencher (Löcher)
 - Radikalfänger

6) Nennen Sie einige Möglichkeiten den Alterungsfortschritt bei thermooxydativem Abbau zu überprüfen

- visuelle Wahrnehmung
- DSC (Differential Scanning Calorimetry)
- FTIR (Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer)
- mechanische Eigenschaften
- Schadensanalyse

Vorlesung 11: Nachhaltigkeit

- 1) Wie energieintensiv ist die Herstellung eines dm^3 Kunststoff im Vergleich zu Weißblech, Glas und Papier (größer, kleiner, gleich)?
Weißblech größer
Glas größer
Papier gleich
- 2) Nennen Sie Vorteile von Verpackungen aus Kunststoff.
 - geringes Gewicht
 - dadurch weniger LKW-Fahrten
 - bei großen Abfüllmengen sehr günstig
 - Flexibilität und Anpassungsfähigkeit
- 3) Welchen Nutzen haben Verbundfolien und mit welchem Verarbeitungsverfahren werden sie hergestellt?
Gute Eigenschaften von zwei verschiedenen Kunststoffen können kombiniert werden. Somit können alle für die Folie benötigten Eigenschaften erzeugt werden.
Verarbeitungsverfahren: Extrusion
- 4) Nennen Sie Gründe für den Einsatz von Kunststoffen im Bauwesen
 - die benötigten Eigenschaften können durch Kunststoffverbunde hergestellt werden
 - billig in der Herstellung
 - geringes Gewicht
 - schlechte Wärmeleitfähigkeit → gute Wärmedämmung
 - guter Isolator
- 5) Was ist bei einem Brand größere Einflussgröße, die Rahmenbedingungen oder das Brandgut?
Brandgut
- 6) Welches Brandgas ist verantwortlich für die meisten Todesfälle? Entsteht dies nur bei Kunststoffen?
Kohlenmonoxid; es tritt bei allen Bränden auf
- 7) Sind Brandgase von Kunststoffen toxischer als die von Naturprodukten wie Holz oder Wolle?
Nein!
- 8) Gibt es Unterschiede bzgl. der Brandgase, die von verschiedenen Kunststoff-Typen ausgehenden?
Nein!
- 9) Welche Reihenfolge sollte bei der Verwertung von Werkstoffen eingehalten werden?
Vermeidung vor ... vor ...
Vermeidung → Wiederverwendung → Werkstoff-Recycling → Rohstoff-Recycling → energetische Verwertung
- 10) Was sind Voraussetzungen für ein sinnvolles Werkstoff-Recycling?
 - sortenrein
 - sauber
 - großvolumig
 - große Mengen an wenigen Orten (z.B. Produktionsabfälle)

- 11) In welche zwei großen Gruppen kann man die Biokunststoffe unterteilen? Gibt es Biokunststoffe, die beiden zugeordnet werden können?

Bioabbaubare Kunststoffe (fossiler oder nachwachs. Kohlenstoff)	Biobasierter Kunststoff (ausschl. nachwachsender Kohlenstoff)
Bioabbaubarkeit: „Biologischer Prozess organ. Materie, welche durch Mikroorganismen (Bakterien und Pilze) vollständig zu Wasser, CO ₂ /Methan, Energie und neue Biomasse umgewandelt wird.“	Nachwachsend: „auf Rohstoffe bezogen, welche nach spätestens zwei Wachstumsperioden geerntet werden (z.B. Mais, Weizen, Gras, Bakterien)*“
Typische Anwendungen: Verpackung, Landwirtschaft, Gartenbau (Medizintechnik)	Typische Anwendungen: Verpackungen (Automobil, Konsumelektronik)

Ja, es gibt auch Biokunststoffe, die beiden Gruppen zugeordnet werden können. Aber nicht alle.

- 12) Welchen gesellschaftlichen Nutzen bietet jede dieser beiden Gruppen der Biokunststoffe?
- alternativer Entsorgungsweg
- 13) In welchen Branchen werden Biokunststoffe bereits stärker eingesetzt?
- Verpackungsindustrie
 - Medizintechnik
 - Automobilindustrie
- 14) Sind Biopolymere direkt nach der Synthese als Werkstoff nutzbar?
- Reine Biopolymere sind kaum auf bestehenden Maschinen verarbeitbar und erfüllen selten die besonderen Anforderungen der Anwendung. Biopolymere müssen zu Biokunststoffen aufbereitet werden.
- 15) Wie mache ich Biopolymere zu Biokunststoffen?
- Durch Bio-Blendpartner, Additive, und Füllstoffe werden maßgeschneiderte Biokunststoffe geschaffen, die auf herkömmlichen Maschinen verarbeitbar sind.
- 16) Nennen Sie Beispiele für Anwendungen von Biokunststoffen.
- Biofolien-Abfallbeutel
 - kompostierbare Netze
 - Hygienefolien (Windeln)
 - Kugelschreiber
 - Holzfasern mit Biokunststoff

