

01 Einleitung

Nennen Sie typische Branchen/Einsatzgebiete für Kunststoffe

Bauindustrie/ KFZ/ Luftfahrt/ Sport/ Verpackungsindustrie/Medizin/Informationstechnik

Nennen Sie Gründe, warum Kunststoffe auch gerne in ästhetischen Anwendungen eingesetzt werden.

Ermöglicht schöne Formen/ Farben/ Oberflächen

Polymere Werkstoffe können neben Kunststoffen auch andere Erscheinungsformen haben. Nennen Sie drei weitere und erläutern Sie sie kurz.

- Polymere als Hilfsstoffe(Additive): Anwendung in Lösungen und Dispersionen z.B. Lacke und Klebstoffe
- Polymer Werkstoffe als Faserstoffe(synthetic fiber): Einseitiges Anwendungsgebiet kein, somit Konstruktionswerkstoff
- Kautschuk/Gummi (meist eigene Gruppe)

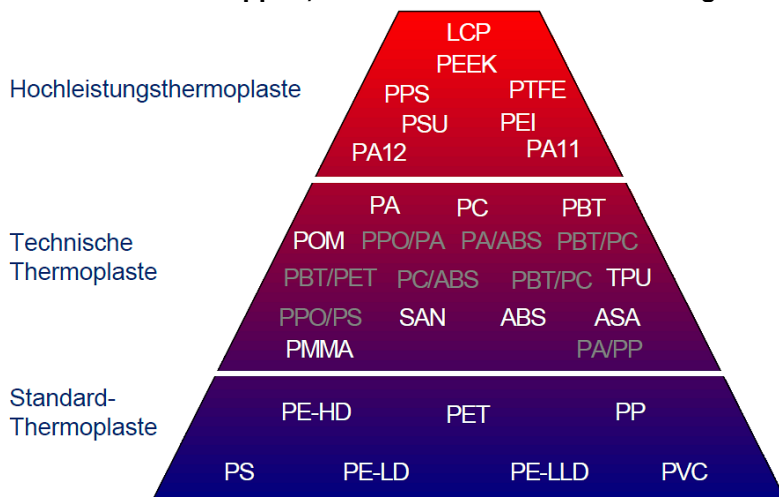
Kunststoffe sind irgendwie „künstliche Stoffe“. Wie werden Sie denn gewonnen, wenn Sie nicht natürlichen Ursprungs sind

Aus Erdöl in der Raffinerie(Destillieren, Cracken, Reformieren, Raffinieren) und anschließende Polymerisation

Können Kunststoffe nicht auch natürlich gewonnen werden? Was benötigt man dann als Kohlenstoff-Quelle?

Polymersynthese möglich in Pflanzen, Mikroorganismen

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



Sind Kunststoffe teure oder kostengünstige Werkstoffe?

Teurer Werkstoff (Polyamid Faktor 5 zu Baustahl)

Sind Kunststoffbauteile eher teuer oder kostengünstig? Wieso?

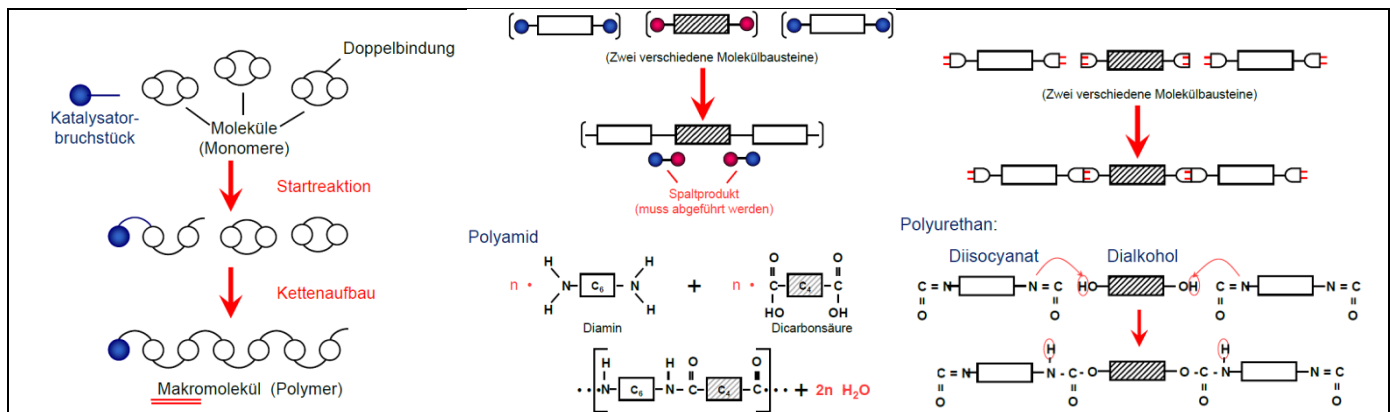
Bauteile kostengünstig, da Kostengünstige Urformung/Formgebungsvielfalt/ Gestaltungsfreiheit

02 Vom Monomer zum Polymer

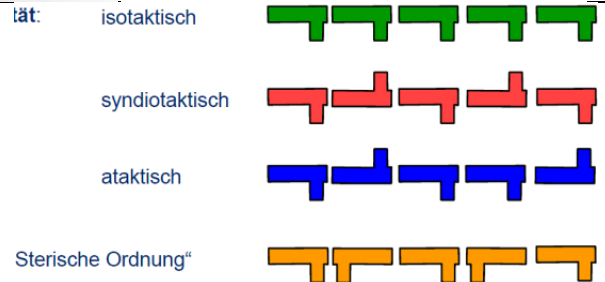
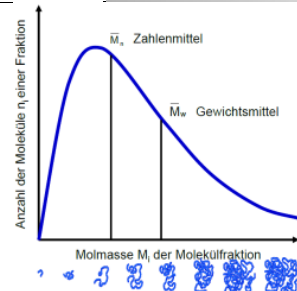
Polymerisation: Kettenwachstumsreaktion bei der ungesättigte Moleküle zu Makromolekülen verknüpft werden
Bsp: Radikalische und ionische Polymerisation (**PE/ PC**)

Polykondensation: Stufenreaktion bei der Makromoleküle unter Abspaltung von Nebenprodukten wie Wasser/ Alkohol gebildet werden (**PA/PC**)

Polyaddition: Stufenreaktion bei der Makromoleküle durch „Addition“ ohne Abspaltung von Nebenprodukten gebildet werden (**POM/PU**)



$M_{\text{Polymer}} \approx n \cdot M_{\text{Monomer}} \rightarrow$ im Polymer Molmassenverteilung als Mittelwert



Bestimmung der Molmasse:

- **GPC(SEC)** → aufwendig, liefert Molmassenverteilung, mittels Lichtstreuendetektoren absolute Molmassen
- **Bestimmung des Schmelzindex (MFR)** → schnell, aber keine absoluten Molmassen
- **Lösungsmittelviskosität** → schnell, Zahlenwert der mit Konstanten umgerechnet werden muss

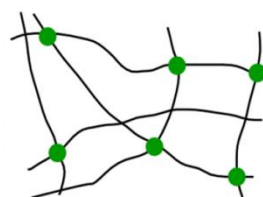
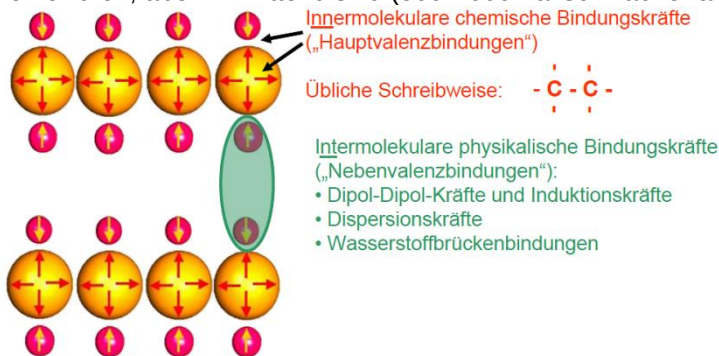
Metallische Bindung: (Elektronen Gas) Gitter aus positiven Kernen und negativen Elektronengas

Atombindung: teilen sich mindestens ein bindendes Elektronenpaar der Außenelektronen (Valenzelektronen) → Hauptvalenzbindungen

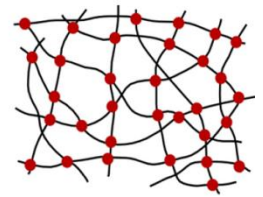
Nebenvaleanzbindungen: bestehen z.B. zwischen 2 Ketten, sind 10-100mal schwächer als Hauptvalenz und entstehen durch unterschiedliche Elektronegativität der chem. Elemente → **Dipol Dipol** 50-100mal schwächer Bindungen die z.B. von einem positiven H Atom zu einem negativen anderen Atom gehen. Dipol Dipol können Induktionskräfte verursachen (500-2000mal schwächer als Hauptvalenz)

Wasserstoffbrücken: besondere Dipol Dipol wenn mit Wasserstoff zu anderem → stärkste Nebenvaleanzbindung

Van der Waals/ Dispersionskräfte: durch Elektronenbewegungen entstehen Dipole die wieder andere Dipole hervorgerufen, aber im Mittel 0 sind (500-1000mal schwächer als Hauptvalenz)



einzelne kovalente Verknüpfungen
schwach vernetzt
nicht schmelzbar
quillt stark



Viele kovalente Verknüpfungen
stark vernetzt
nicht schmelzbar
quillt kaum

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

Brownsche Molekularbewegung → je höher T. desto höher Bewegung → Stoff wird flüssig (schwächere NV-Kräfte)

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

Keine kovalenten bindungen in den unvernetzten → lösbarkeit der polymere (Entwirren)

Bei den vernetzten aber kovalente Bindungen, die nicht aufgelöst werden, sondern können nur durch Chemikalien zerstört werden (auseinanderschneiden)

Amorph = Knäuel (bei vernetzten Kunststoffen → transparent)

(Teil)Kristallin = geordnet (wenn **Fasermoleküle nicht sperrig** steigt Packung → höhere Dichte, Steifigkeit, Festigkeit → opak/trüb)

Copolymere: bestehen aus 2 Monomeren die auf versch. Arten sich anordnen $\neq$ **Polymerblends**

- Blends können bei der Verarbeitung entmischen, Copolymere nicht
- Die Herstellung der Blends billiger, kann der Verarbeiter selber
- Unverträgliche Mischungspartner führen zu heterogenen Morphologien (schlagzäh)
- Verträgliche Mischungspartner erlauben die Herstellung von Werkstoffen mit mittleren Eigenschaften

03.1 Erstarrung und Kraftübertragung

Erstarrung bei **Thermoplasten** → die Makromoleküle kommen sehr nah zusammen es bilden sich Nebenvaleanzbindungen (manchmal erstarren die Moleküle kristallin)

Erstarrung bei **Duromeren** und **Elastomeren** → chemische Hauptvalenzbindungen, dabei enges Netz → Duromer hohe vernetzung

Zwischengruppe **thermoplastische Elastomere**: Blockcopolymere und Blends beide dehnfähig aber thermoplastisch verarbeitbar

Bestimmte Thermoplaste können bei der Erstarrung kristallisieren (teilkristalline Thermoplaste). Die Kristallisation erfolgt an Grenzflächen in der abkühlenden Schmelze (sog. Keime).

- Niedrige Abkühlgeschwindigkeit fördert gleichmäßige Kristallisation (Kristallisationsgrad steigt)!
- Je weniger Keime, desto größer wird der einzelne Kristall (z.B. Sphärolithdurchmesser)!
- Je geordneter die Makromoleküle in der Schmelze liegen (Orientierung), um so besser können die Makromoleküle kristallisieren (sog. scherungsinduzierte Kristallisation).
- Bei sehr hohen Abkühlgeschwindigkeiten kann die Kristallisation unterdrückt werden (z.B. Getränkeflasche aus PET)

Wodurch unterscheiden sich teilkristalline und amorphe Kunststoffe?

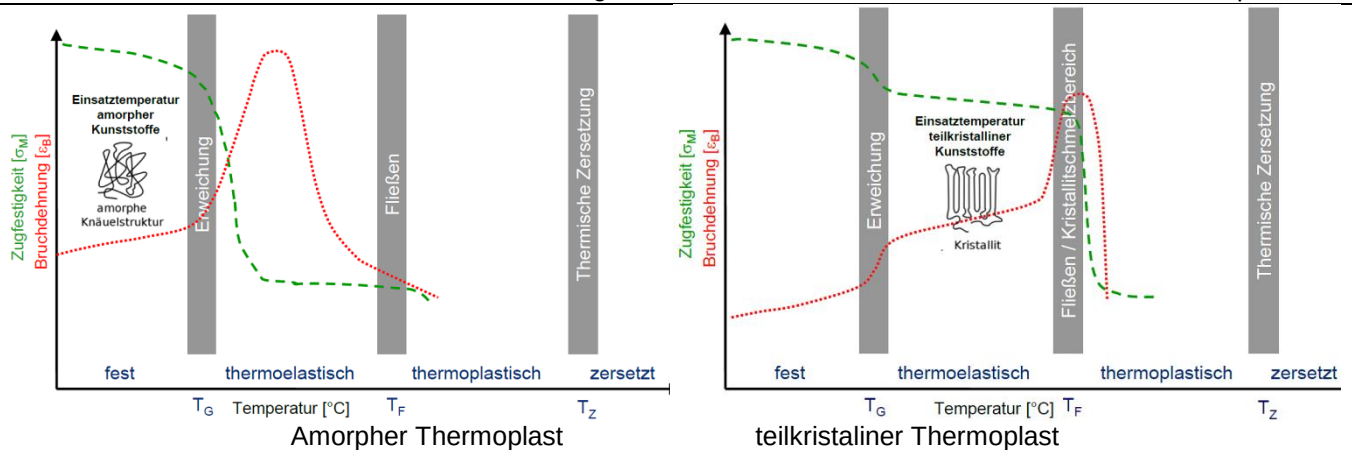
Ordnung der Makromoleküle durcheinander = amorph; geordnet = kristalin

Duromer:

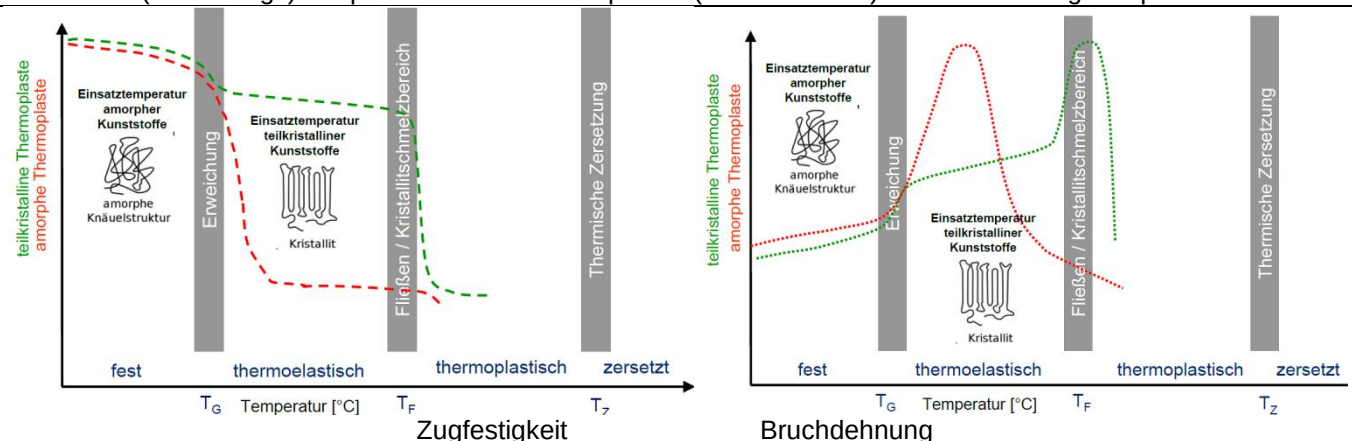
stark chemisch vernetzt / harter Festkörper / nicht schmelzbar / nicht löslich, fast nicht quellbar

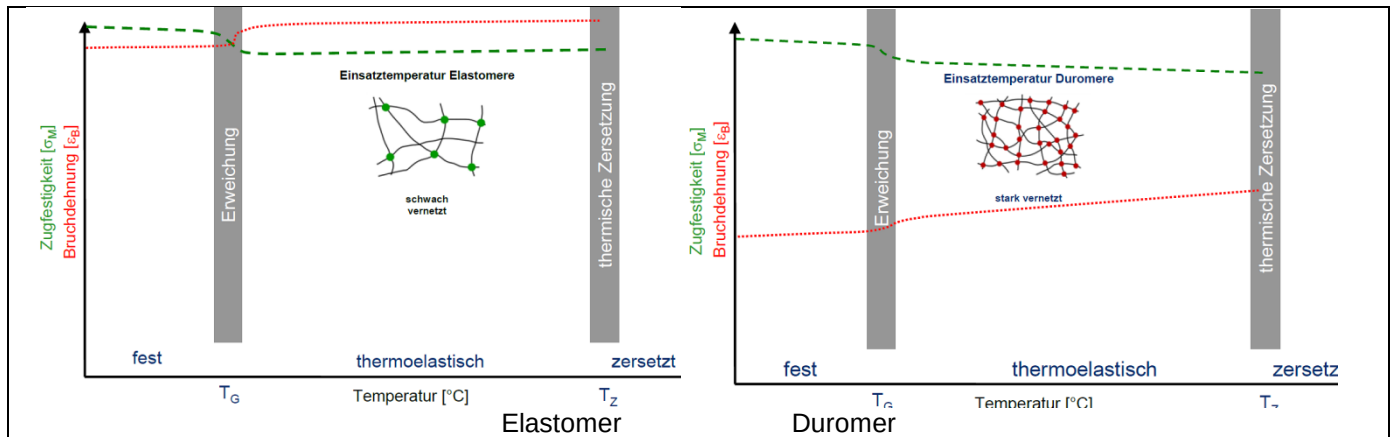
Elastomer

schwach chem. vernetzt / weich, stark verformbar / gummi-elastisch / nicht schmelzbar / nicht löslich, aber quellbar



T_G = Gefrier(Erstarrungs)Temperatur / T_F = Fließtemperatur (hoch viskoses) / T_Z = Zersetzungstemperatur





03.2 Eigenschaften des Festkörpers I

Zugversuch → einachsiger Spannungszustand/E-Modul, Zugfestigkeit, Dehnungen/ + für alle Kunststoffe/ - Dauer

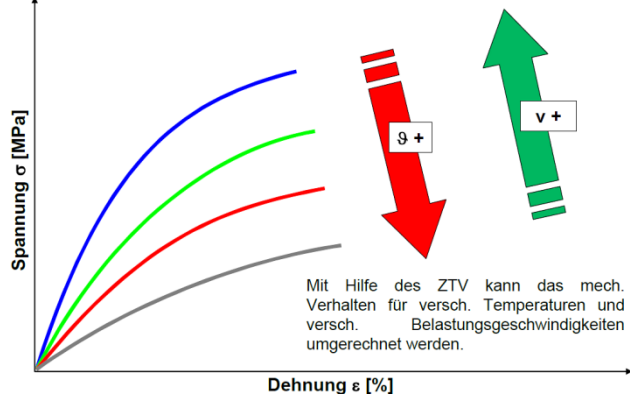
3-Punkt-Biegeversuch → Biegebeanspruchung/ (Biege-)Spannungs-(Randfaser)Dehnungs-Diagramm/ + Biegeprüfung/ - aufwändiger

Schlagbiegeversuch → Biegebeanspruchung (mehrachsigerspannungszustand)/ Kennwert: Energie (Arbeitsaufnahme pro Querschnittsfläche)/ Gekerbte und ungekerbte Prüfkörper möglich/ Durch Kerbe definierte Schwachstelle (bei zähen Materialien)/ + einfacher Aufbau/ - Geschwindigkeit nicht frei wählbar (Schlagpendel)/ Geschwindigkeit nicht konstant, Pendel durch Probe gebremst/ Meist nicht instrumentalisiert (dabei kein Bruch → Teilbruch → Scharnierbruch → vollständiger Bruch)

Schlagzugversuch → uniaxiale Zugbeanspruchung/ Kennwert: Energie/ gekerbte Prüfkörper möglich/ + Einfacher Aufbau und Auswertung, Einfacher Spannungszustand/ - Geschwindigkeit nicht frei wählbar, Geschwindigkeit nicht konstant, meist nicht instrumentalisiert

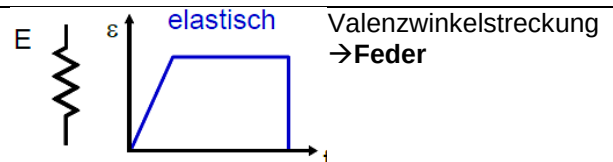
Schnellzerreisversuch → uniaxiale Zugbeanspruchung/ Ermittlung des Spannungs-Dehnungs-Verlaufs/ + Belastungsgeschwindigkeiten konstant und wählbar; instrumentalisiert (Kraftverlauf über der Zeit);

Werkstoffverhalten (zäh, spröde) über Kurvenverlauf erfassbar/ - Servo-hydraulische Zugprüfmaschine notwendig



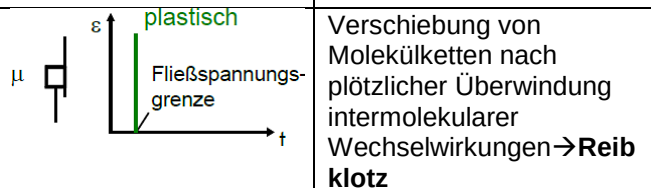
Elastisches Verhalten:

Jeder Spannung ist eine entsprechende Dehnung eindeutig zugeordnet. (Bei Proportionalität: ideal-elastisch). Dieses Verhalten zeigen viele Metalle bei kleinen Dehnungen. Die Energie wird vollständig gespeichert.



Plastisches Verhalten:

Bei Überschreiten der Fließspannung gleitet das Material entlang innerer Grenzen. Belastung wird durch Verformung ohne Rückstellung sofort abgebaut. Die Energie wird vollständig in Wärme umgewandelt.



Viskoses Verhalten: Es besteht ein Zusammenhang zwischen Spannung und Verformungsgeschwindigkeit. Es erfolgt keine Rückstellung, die Energie wird vollständig als Wärme abgegeben		Ableiten von Molekülketten mit schwachen Nebenvalenzkräften → Dämpfer
Viskoelastisches Verhalten → Valenzwinkelstreckung + Deformation, teilweise Rückstellung, Orientierung → Feder + Dämpfer (fast alle Thermoplasten viskoelastisch)		
Erklären Sie den grundlegenden Unterschied zwischen Retardation und Relaxation Retardation (Kriechen): Kraft konstant Probe längt sich / Spannungs- und Dehnungsabnahme Relaxation: Dehnung const., Länge const. Aber Kraftabnahme		

04.1 Eigenschaften des Festkörpers II

Kunststoffe nicht leitfähig → Isolator (keine freie Elektronen) je höher Durchschlagfestigkeit und geringe Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit erwünscht Nachteil → elektrostatische Aufladung (Kleidung/ Anhaftendes Pulver)		
Perkolation → Zugabe von Ruß in Schmelze um Kunststoff leitend zu machen		
Dielektrisch leitfähige Kunststoffe → Ausrichtung von Ladungen oder Kettensegmenten im elektrischen Feld (Bsp. Blister/Kondensatoren/ Kunststoffschweißen)		
Piezoelektrik → Spannung bei mech. Verformung und Verformung bei Spannung (Feuerzeug/Einspritzpumpe/ Folienlautsprecher Polyvinylidenfluorid (PVDF)/ Taster/ Schalter)		
Elektret → Material mit quasi-permanent gespeicherten elektrischen Ladungen. Deformation führt zu Spannungsunterschieden (Mikrofon Lautsprecher)		
Ferromagnetismus → Intrinsisch ferromagnetische Polymere (Grundlagenforschung) oder Ferromagnetisch gemachte Polymere (Zugabe von ferromagnetischen Füllstoffen, z.B. Eisenpulver) (Diskette MC VHS)		
Optische Eigenschaften → homogene optische Eigenschaften wie Transparenz, Brechung		
Amorphe Kunststoffe: Regellose Anordnung der Kettensegmente Einfallendes Licht wird nicht gestreut, kann ungehindert durchscheinen Reine amorphe Kunststoffe sind transparent oder glasklar (PMMA, Plexiglas®)		
Teilkristalline Kunststoffe: Teilweise kristalline Anordnung der Ketten/ Unterschiedliche Orientierungen der Kristallite/ Einfallendes Licht wird gestreut/ Teilkristalline Kunststoffe sind opak oder milchig		
Für CD orientierungsloser Kunststoff → amorph → Sichtbarmachung der Orientierung durch Polarisation mit Filtern		
Lichtdurchlässigkeit ist die Transparenz elektromagnetischer Strahlung im Bereich des sichtbaren Lichts		
Trübung ist die Streuung des einfallenden Lichtes durch eingeschlossene Partikel (Füllstoffe) oder Phasengrenzen (durch Risse oder Kristallite)		
Transmission ermöglicht Identifizierung von Kunststoffen durch Absorption von IR-Strahlung durch funktionelle Gruppen der Polymere (IR Spektroskopie)		
Eigenstressungen: • thermische Kontraktion (besonders bei teilkrist. Thermoplasten) bsp. abkühlen • Reaktionsschwindung (besonders bei Duromeren) • Medienaufnahme (oder -abgabe) (besonders bei amorphen Thermoplasten)		
Orientierungen → Durch Scherung - insbesondere an der Formwand - werden die Makromoleküle ausgerichtet und beim Erstarren eingefroren (dadurch entknäulen und Hinlegen der Fäden → Hauptvalenzkräfte in Längs- und Nebenvalenzkräfte in Querrichtung → anisotrope Festigkeit und nur in Längsrichtung hohe Kraft) Knäuel isotrop		
Die Fließvorgänge beim Spritzgießen orientieren den Werkstoff. Die Eigenschaften werden richtungsabhängig („anisotrop“). So kann die thermische Kontraktion und damit auch die Schwindung in den verschiedenen Richtungen unterschiedlich ausfallen. Auch dies kann Verzug bewirken! → In Fließrichtung ist die Schwindung kleiner als senkrecht zur Fließrichtung. → Fasergefüllte Formmassen weisen stärkere Anisotropien bei den Schwindungswerten auf als unverstärkte Formmassen. (Fontäne mit umschichteten Fasern) → Minimierung der Orientierungen durch längere Abkühlzeiten mit beheizten Werkzeugen		
Bestimmte Thermoplaste können sich bei der Erstarrung teilweise ordnen (kristallisieren → teilkristalline Kunststoffe). Der Aufbau kristalliner Ordnungszustände erfolgt an Grenzflächen in der abkühlenden Schmelze (Keimen). • Je langsamer die Abkühlgeschwindigkeit ist, umso gleichmäßiger können die Makromoleküle kristallisieren (Kristallisationsgrad steigt)! • Je weniger Keime vorhanden sind, umso größer wird der einzelne Kristall (z.B. Sphärolithdurchmesser)! • Je geordneter die Makromoleküle in der Schmelze liegen (Orientierung), umso besser können die		

- Makromoleküle kristallisieren (z.B. scherungsinduzierte Kristallisation)!
- Bei sehr hohen Abkühlgeschwindigkeiten kann die Kristallisation unterdrückt werden (z.B. Getränkeflasche aus PET)!
- Bruchrechnung und Zähigkeit nehmen mit abnehmender Kristallitgröße (Sphärolitgröße) zu

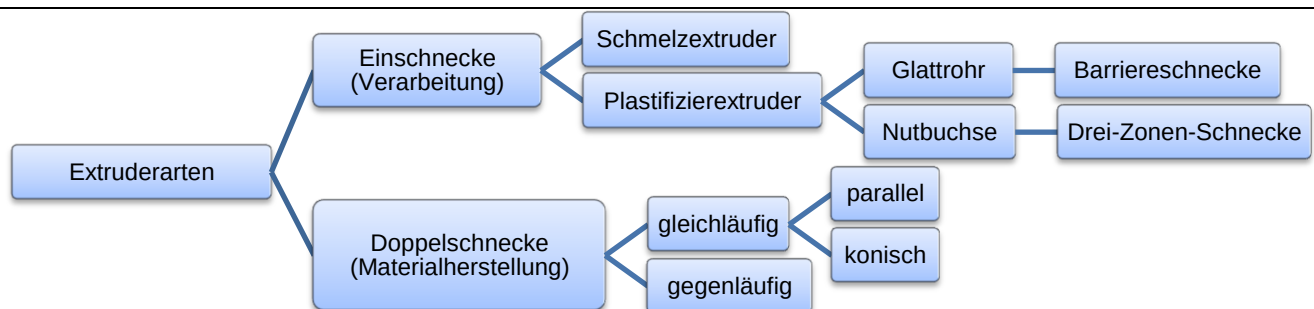
Schäume:

- Schaumschlagverfahren: Einschlagen oder Einblasen von Luft/Gas
- Mischverfahren: zwei flüssige, reaktive Komponenten + Treibmittel
- Expansionsverfahren: Expansion einer gasförmigen Phase

Offenzellig → gute Schallisolation

Geschlossenzellig → gute Wärmeisolation

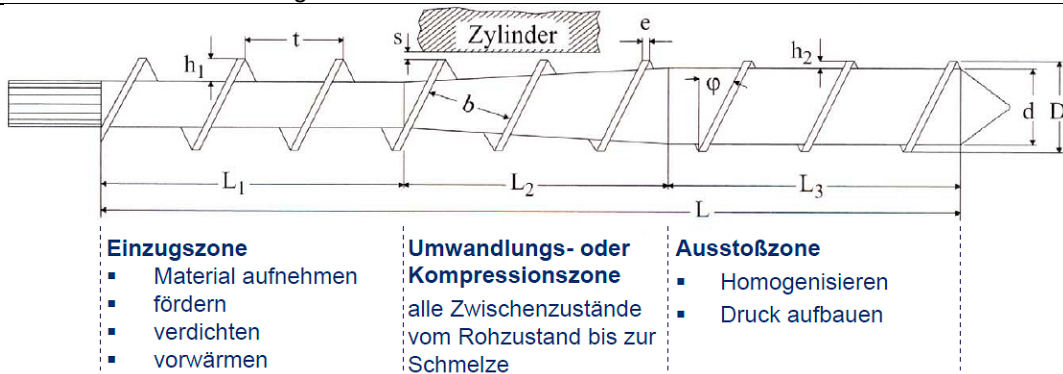
05. Extrusion



Was versteht man unter "Compoundieren" und weshalb werden hierzu vor allem Doppelschneckenextruder eingesetzt?

Die Compoundierung, Mischung von Kunststoffen mit Zusatzstoffen erfolgt in Extrudern (hauptsächlich gleichläufige Doppelschneckenextruder, aber auch gegenläufige Doppelschneckenextruder und Ko-Knetter) und umfasst die Verfahrensoptionen Fördern, Aufschmelzen (Kneten), Dispergieren, Mischen, Entgasen und Druckaufbau.

Unter **Extrudieren** im Bereich der Kunststofftechnik wird das kontinuierliche Austragen von Kunststoffschmelze zu einem endlosen Halbzeug verstanden.



Je größer h (Gangtiefe), desto mehr Material wird gefördert/ Je größer t_1 (Gangsteigung), desto kleiner ist der aufgebaute Druck/ Je größer α (Gangsteigungswinkel), desto größer ist t_1

Schnecke wird z.B. 90/25D genannt → Durchmesser=90 Länge=90*25=2250

Nutbuchse: Zwangsförderung/ Druckaufbau mittels Feststoffförderung im Einzug/ Weitere Extruderzonen sowie Werkzeug wirken als Druckverbraucher/ Gegendruckunabhängiger Durchsatz

Glattrohr: Kontinuierlicher Druckaufbau über gesamte Schneckenlänge/ Mischwirkung mittels Gegendruck am Werkzeug steuerbar/ Durchsatz ist gegendruckabhängig

Mischteile verbessern bei Glattrohretrudern die Homogenisierung der Schmelze

Extrusionswerkzeuge für Rohre:

Einfachstegdornhalter: Aufteilung des Schmelzestroms/ Bindenähte/ Nachteilige Auswirkung auf die mechanische Eigenschaften

Doppelstegdornhalter: Keine durchgehende Stegmarkierungen/ Stege versetzt/ Bessere mech Eigenschaften

- Teilkristalline Werkstoffe schrumpfen stärker als amorphe
- Die Moleküle liegen in den kristallinen Bereichen geordnet nebeneinander
- Die amorphen Kunststoffe liegen ungeordnet in Knäueln vor

- Aufgrund der geordneten Bereiche erreichen die teilkristalline Werkstoffe eine höhere Dichte
- An Dickstellen und Materialanhäufungen können im Inneren **Lunker** entstehen, wenn die Außenhaut zu schnell abkühlt und erstarrt
- Wenn das Formteil innenliegende Stege, Rippen oder Vorsprünge hat, kann eine **Verformung** als Folge der ungleichmäßigen Abkühlung stattfinden

Blasfolienverfahren → Folien für 0,02 bis ca. 1 mm Dicke

Breitschlitzdüse → für Platten oder stärkere Folien

Extrusionsblasformen → (Kanister, Tanks, Fässer, Flaschen) 2negativ Formen in die Schlaue gehängt wird und gequetscht wird, anschließend aufgeblasen → Quetschnat nicht stabil für hohe Drücke

Coextrusion → wie Blasfolie nur 2 verschiedene Materialien (Schläuche)

Was ist das wesentliche Konstruktionsmerkmal eine HELIBAR®- Hochleistungsextruders?

Durchgehend genuteter Zylinder (Axial- oder Wendelnuten)/ Barrierschnecke mit Scher- und Mischelementen

Warum reicht beim HELIBAR®-Hochleistungsextrusionssystem normalerweise eine passive Luftkühlung in der Einzugszone?

Da Schmelztemp niedriger → Dünne Schmelzefilme am Zylinder verbessern den Wärmetransport in den Feststoff
A. Dadurch effektive Nutzung der Heizenergie und hohe Aufschmelzraten möglich.

06. Spritzgießen

- Serienverfahren zur Herstellung von Kunststoffprodukten benötigen ein Werkzeug zur Formgebung.
- Diese Werkzeuge sind meist derart „robust“, dass mehrere hunderttausend Produkte darauf verschleißarm hergestellt werden können.
- Serienverfahren rechnen sich nur, wenn große Serien, bzw. große Stückzahlen gefertigt werden.
- Werden Thermoplaste verarbeitet, so geschieht dies im Temperaturbereich von ca. 200 bis ca. 300 °C.

Aus welchen Hauptkomponenten besteht eine Spritzgießmaschine?

Schließeinheit/ Werkzeug/ Plastifizier- und Einspritzeinheit/ Steuerung und Antrieb

In welche Phasen unterteilt sich ein Spritzgießzyklus?

Werkzeug schließen/ Aggregat vor/ {Einspritzen/ Nachdrücken/ Aggregat zurück/ Plastifizieren/ Restkühlzeit}
Abkühlzeit vorbei/ Werkzeug öffnen und auswerfen

Welche Phase nimmt die meiste Zeit in Anspruch und bietet daher das größte Optimierungspotential?

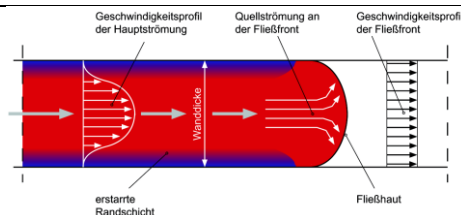
Abkühlphase mit / Nachdrücken/ Aggregat zurück/ Plastifizieren/ Restkühlzeit

Einspritzphase:

- In der Einspritzphase wird das Werkzeug mit der Schmelze gefüllt. - Jetzt bereits beginnt die Kühlzeit!
- Einspritzen wird durch weggeregelter axiales Verschieben der Schnecke im Plastifizierzylinder erreicht.
- Die Rückstromsperre verhindert beim Einspritzen Zurückfließen der Schmelze in die Schneckengänge.
- Die hohe Viskosität des Kunststoffs erfordert hohe Drücke beim Füllen der Kavität!
- Die niedrige Wärmeleitfähigkeit erlaubt ein Fließen der heißen Schmelze im kalten Werkzeug, bevor sie in der endgültigen Position erstarrt

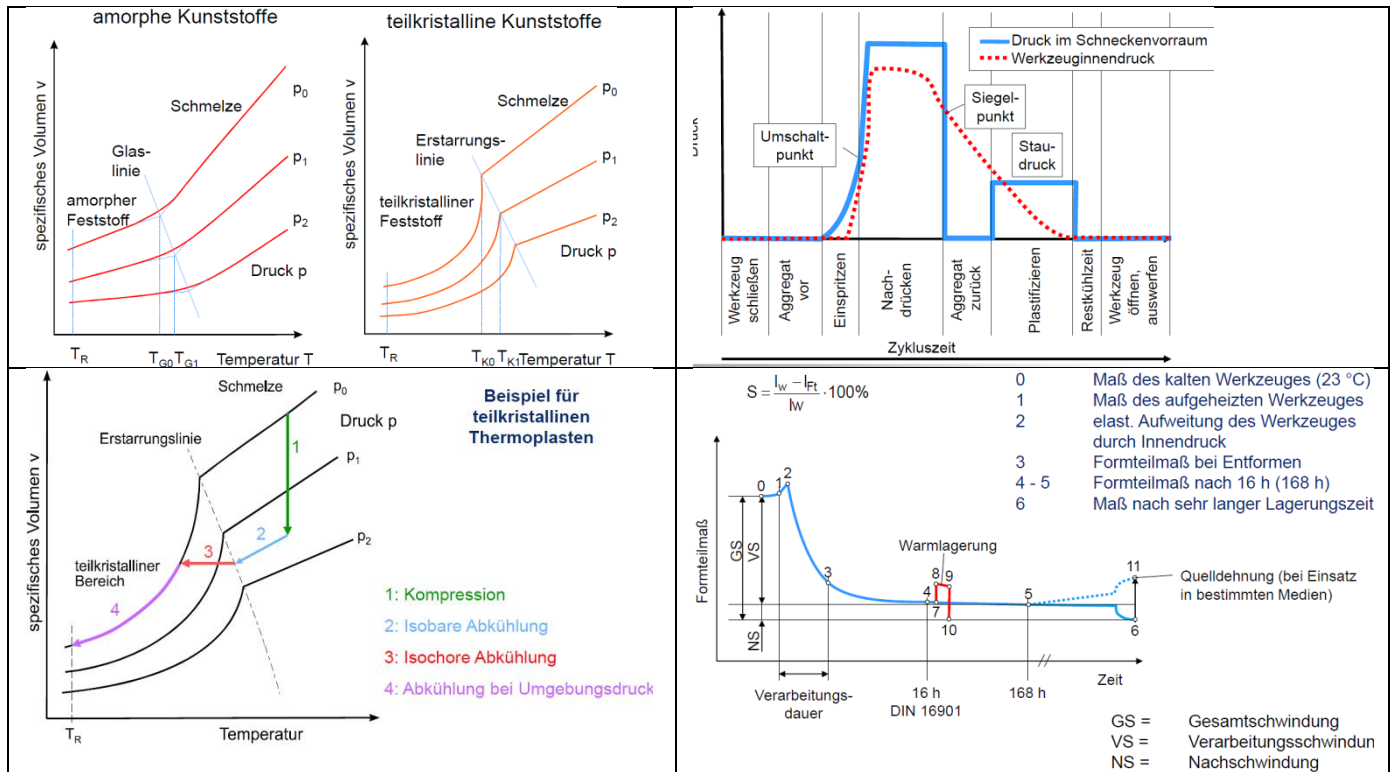
Formfüllung:

Laminare Fließen, dabei Scher- und Dehndeformation, dabei Schererwärmung und zugleich Wärmeabfuhr über Werkzeugwand



Nachdruckphase:

- Mit Ende der Formfüllung wird der Schneckenvorschub von Einspritzphase (weggeregelt) auf Nachdruckphase (druckgeregelt) umgeschaltet.
- Durch den Nachdruck wird Schmelze in der Kavität komprimiert und nachgeschoben. Dadurch kann der Volumenkontraktion beim Abkühlen (Schwindung) entgegengewirkt werden!
- Achtung! Bei zu hohem Nachdruck kann die Schwindung überkompensiert werden. Dann presst sich das Formteil ggf. in das Formnest ein und lässt sich nicht entformen.
- Durch hohen Nachdruck kann sich das Werkzeug geringfügig öffnen („atmendes“ Werkzeug). Auch dies verringert die Schwindung. Zu hoher Nachdruck führt zu Überspritzen und Gratbildung (Achtung: Werkzeug kann beschädigt werden!)
- Der Nachdruck kann so lange wirken, bis der Anguss eingefroren ist.



Plastifizieren:

- Wenn der Anguss eingefroren ist (Siegelzeitpunkt), ist die Nachdruckzeit beendet!
- Das Spritzaggregat wird von der Angussbuchse zurückgefahren (Wärmetrennung). Eine Verschlussdüse verhindert das Ausströmen der Schmelze aus dem Plastifizieraggregat.
- Zum Plastifizieren des Kunststoffs für den nächsten Schuss rotiert die Schnecke und fördert Schmelze in den Schnekenvorraum. Zugleich baut sich der sog. Staudruck in axialer Richtung auf und drückt die Schnecke langsam zurück.
- Bei Erreichen eines vorgegebenen zurückgelegten Schneckenwegs ist die Plastifizierphase beendet. Es liegt nun ausreichend Schmelze für den nächsten Schuss vor.

Aufgaben

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

Verschlussdüsen erlauben, das Plastifizieraggregat sofort nach Einfrieren des Anguss' zur Wärmetrennung abzuheben. [Nadelverschlussdüse (federbelastet)/ Nadelverschlussdüse (fremdbetätigt)/ Bolzenverschlussdüse (fremdbetätigt)/ Schieberverschlussdüse (federbetätigt)]

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 Schnekenvorraum gelangen, die Rückströmsperre muss sich öffnen.

Schließbarkeit: Zuhalten des Werkzeugs gegen den Schmelzedruck/ Öffnen und Schließen des Werkzeugs/ Auswerfen des Formteils

Werkzeugtemperierung:

laminare Schmelzströmung → keine Quervermischung Wärmeübergang beruht hauptsächlich auf Wärmeleitung
turbulente Schmelzströmung → zusätzliche Geschwindigkeitskomponente senkrecht zur Strömungsrichtung
bessere Quervermischung → besserer Wärmeübergang

Guter Wärmeübergang:

- Turbulente Strömung → Reynoldszahl hoch
- Hohe Strömungsgeschwindigkeiten
- Große durchströmte Querschnitte (Achtung: Wechselwirkung mit Strömungsgeschwindigkeit!)
- Niedrige Viskosität des Temperiermediums (Wasser > Öl) !!! Siedepunkt (max. 200 °C mit Überdruck)!

Variotherme Werkzeugtemperierung: Schnelles Erwärmen und Abkühlen der Werkzeugoberfläche/ Verbesserung der Oberflächenqualität (z.B. Hochglanzoberflächen)/ Reduktion von Bindenähten/ Reduktion von Verzug und Deformationen/ Abformung von Mikro- und Nanostrukturen
→ dazu 2 Temperaturkreisläufe/ induktive Beheizung/ Wärmestrahler/ Heißdampf

Abkühlzeit: $t_k = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a_{eff}} \cdot \ln \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right)$	t_k [s] s [mm] T_M [°C] T_W [°C] T_E [°C] a_{eff} [mm²/s]	Kühlzeit Dicke des Formteils Schmelzetemperatur zu Beginn der Formfüllung Werkzeugtemperatur Entformungstemperatur effektive Temperaturleitfähigkeit der Formmasse
Spritzgießsondervverfahren: Spritzguss mit Sonderanforderungen: Spritzprägen/ Dünnwandsspritzguss/ Variothermspritzguss/ Datenträgerspritzguss/ Pulverspritzguss/ Thixomoulding Mehrkomponentenspritzguss: Mehrfachspritzguss/ Montagespritzguss/ Thermoplast+Elastomer-Verbund/ Push-Pull-Technik/ Sandwichspritzguss/ Schaumsspritzguss/ Gasinjektionstechnik/ Wasserinjektionstechnik Spritzguss mit Einlegeteilen: Insert-Outsert Technik/ Hinterspritzen/ Schmelzkerntechnik/ Hybridtechnik/ Moulded Interconnecting Dev.		
Spritzprägen: Für sehr große/ sehr präzise Formteile mit guter Oberfläche, oder zur Abformung von Mikrostrukturen. Ablauf wie Spritzgießen jedoch Füllvolumen 100+X% und Schwindungsausgleich früher und in Prägerichtung (Nachdruck von Schließseite des Werkzeuges → geringere Drücke, da große Fläche hydrostatisch)		
In Mould Labelling → Tiefziehen einer bedruckten Folie → Beschnitt des Tiefziehteils → Hinterspritzen (Handyschale)		
Schaumstruktur → einleiten von O ₂ oder nO ₂ in Schmelze → Viskosität sinkt → Schäumen Einflüsse auf Schaumstruktur: (Dichte/ Randschichtdicke/ Zellgrößen-verteilung/ Zellorientierung) Verfahren → Gasgegendruck/ atmendes Werkzeug/ konventionell Material → Polymer/ Treibfluid/ Art des Nukleierungsmittels und Dosierung Prozess → Schmelzetemp/ Einspritzgeschw/ Dosiervolumen/ Werkzeugtemperatur/ Treibfluidbeladungsgrad		
Potenzielle Schaum: • Gewichtsreduktion der Formteile • Reduktion von Schwindung und Verzug • Höhere Isolationswirkung gegen Schall bzw. Wärme • Vermeidung von Einfallstellen • Maßgenaue Abformung • Gewichtsspezifisch höhere mechanische Eigenschaften • Niedrigere Einspritzdrücke • Reduktion der Zykluszeit möglich → Verarbeitung von physikalischen Treibmitteln: Höhere Aufschäumgrade möglich / Aufwändigere Prozessführung		
Anforderungen an Kunststoffe: Funktionsintegration/ Thermische Beständigkeit/ Geringe Herstellkosten/ Mechanische Festigkeit/ Chemische Beständigkeit/ Recycling → Erfüllung der Anforderungen: Chemische Modifikationen Einarbeiten von Verstärkungsstoffen: (Glasfasern/ Naturfasern/ Mineralische Füllstoffe) Einarbeiten von Additiven: (Flammschutz/ Verbesserung der chem. Beständigkeit) → IMC (Injection Moulding Compound) kann in einem Schritt mischen und spritzen → Einstufenprozess		
Vorteile des Einstufenprozesses: (bsp Einsatz Organobleche) • Geringere 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 → manche chem. Modifikationen oder hohe Füllgrade nur mit Zweistufenprozess zu erreichen!!!		
Streckblasen: PET Flaschen Anforderungen: Permeationsdichte/ Transparenz/ Fall-Bruchfestigkeit/ Druckfestigkeit/ Leichtgewicht/ Wiederverschließbarkeit/ Geschmacksneutralität/ Gestaltungsfreiheit/ Oberflächenglanz/ Recyclingfähigkeit Vorteile gegenüber dem Blasformverfahren: • Höhere Druckfestigkeit, da kein Butzen (insbesondere für CO₂-haltige Getränke) • Exaktere Kontur in Gewinde- und Hohlkörperbereich		
Zusammenfassung Spritzgießen: → Serienverfahren für hohe Stückzahlen: • Hohe Werkzeug- und Maschinenkosten • Niedrige Produktionskosten • Geeignet für komplexe dreidimensionale Geometrien → Prozessablauf: • Plastifizieren: Schnecke rotiert und wird langsam nach hinten gedrückt • Einspritzen: Schnecke bewegt sich nach vorne, Schmelze wird in das Werkzeug gedrückt → Eine		

- Rückströmsperre verhindert ein Rückströmen der Schmelze in den Schneckengängen
- Nachdrücken: Es wird weiter Schmelze in das Werkzeug nachgedrückt, um die Volumenkontraktion beim Abkühlen auszugleichen
- Restkühlzeit: Nach dem Einfrieren des Anschnitts kühlt das Bauteil im Werkzeug ab, bis es entformt werden kann.

Spritzgießsondervverfahren

Das **Mehrkomponenten-Spritzgießverfahren** erlaubt die Integration zusätzlicher Funktionen in das Bauteil, z.B. (Hart-Weich-Verbunde/ Mehrfarbige Teile/ Sandwich-Verfahren (unterschiedliche Komponenten für Kern und Oberfläche)/ Optische Effekte (z.B. Intervallspritzgießen)/ Montagespritzgießen: Formschlüssige Verbindung ermöglicht bewegliche Teile)

Spritzprägen als Weiterentwicklung des Spritzgießverfahrens ermöglicht die Herstellung hochpräziser optischer Bauteile oder großflächiger Bauteile wie z.B. KFZ-Türverkleidungen

Direktverarbeitungsverfahren (Spritzgießcompounder) bieten Vorteile hinsichtlich thermischer und mechanischer Belastung der Kunststoffe

Streckblasen stellt das wichtigste Nachfolgeverfahren des Spritzgießverfahrens dar.

07. Verarbeitung vernetzender Polymere

Basiseigenschaften vernetzender Kunststoffe:

- gutes elektrisches und thermisches Isolationsvermögen
- hohe Festigkeit, Steifigkeit und Oberflächenhärte
- hohe Dimensionsstabilität, kleiner thermischer Ausdehnungskoeffizient
- hohe Temperatureinsatzgrenzen
- hohe Medienbeständigkeit, keine Spannungsrißkorrosion
- günstiges Brandverhalten ohne Flammschutzmittel
- Sicherheitsreserven bei Temperaturspitzen

Kautschuk ist ein unvernetztes, amorphes oder kristallines Polymer (natürlich oder synthetisch). Nach chemischer Vernetzung (Vulkanisation) von Kautschuk erhält man „Elastomer“ („Gummi“). Konventionelle Vernetzungssysteme basieren auf Schwefel und Zinkoxid.

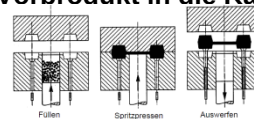
Beim **Spritzgießen von vernetzenden Kunststoffen**, erfolgen Formgebung und Vernetzung in einem Verarbeitungsschritt und laufen fast zeitgleich ab.

- Die Form wird innerhalb weniger Sekunden gefüllt und anschließend wenige Minuten bei Temperaturen von meist 180 bis 200 °C vernetzt.
- Eingespritzt wird in der Regel eine Komponente, die Vernetzungschemikalien beinhaltet und bei Wärmezufuhr die Reaktion startet.
- Da vernetzbare Polymere bei der Verarbeitung ihre chemische Struktur ändern, hat die Verarbeitungszeit einen enormen Einfluss.
- Die Vorprodukte werden als körniges Haufwerk und z. B. Schnitzmassen klebriger Konsistenz eingefüllt.
- Reagierende Massen werden bei Kontakt mit der Werkzeugwand besonders niedrigviskos, aufgrund der anfangs noch niedrigen Molmasse. Grate können sich bilden.
- In den Werkzeugen entstehen oft starke Rückstände.
- Werkzeuge und Plastifizieraggregate verschleßen durch Füllstoffe und chemische Korrosion.
- Die Rohstoffe sind beschränkt lagerfähig. Sie können durch Vorvernetzung oder durch Feuchtaufnahme inaktiv werden.

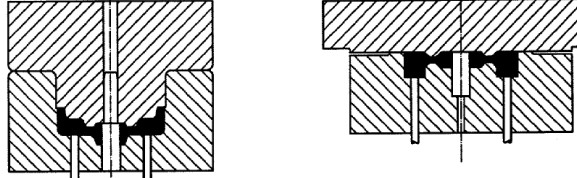
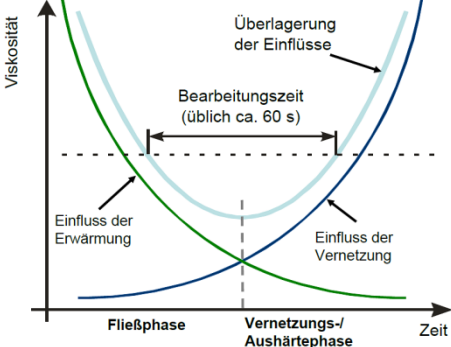
Spritzgießen von Silikon: hohen Einsatztemperaturen/ hoher Witterungsbeständigkeit/ sehr guter chemischer Resistenz/ guten physiologischen Eigenschaften

Beim Spritzpressen wird beim Pressen durch einen Stempel das Vorprodukt in die Kavität gespritzt.

- + gleichmäßigere und schnellere Erwärmung des Materials
- + genauere Dosierung gegenüber Pressen
- richtungsabhängige mechanische Festigkeitseinstellung
- höherer Materialverbrauch

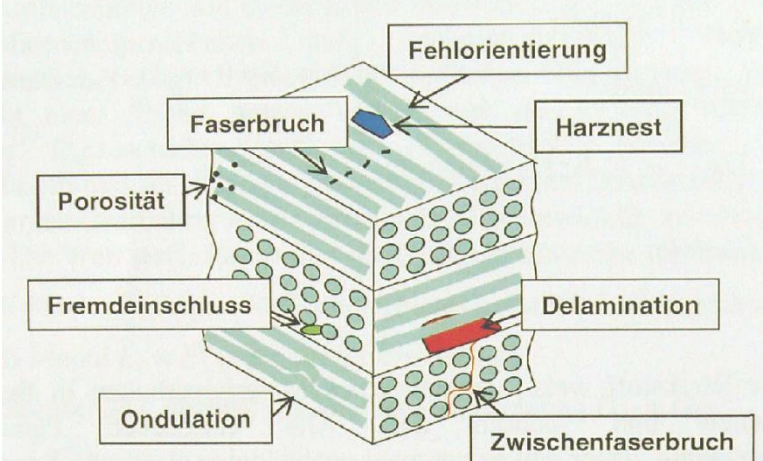


Pressen von Duroplasten: 1. Befüllen 2. Pressen 3. Ausdrücken (Abstreifer fährt unter Pressteil) 4. Abstreifen
Dabei stellt Grat aus überlaufendem Material den Nachdruck sicher

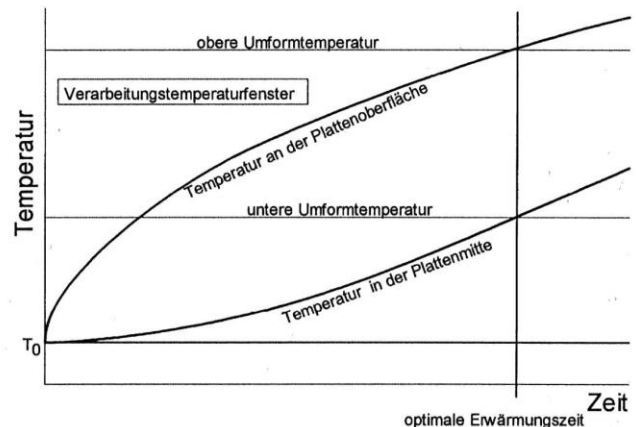
Presswerkzeuge: Tauchkantenwerkzeuge besitzen eine gut dichtende Trennebene und benötigen eine genaue Dosierung der Formmasse, da ein Überschuss nicht entweichen und eine Unterdosierung zu Lunkern führen kann. Überlaufwerkzeuge erfordern eine weniger genaue Dosierung, da Überschuss, mit dem bei solchen Werkzeugen grundsätzlich gearbeitet wird, entweichen kann.	 Füllraumwerkzeug (Tauchkantenwerkzeug) Überlaufwerkzeug
SMC/BMC Prozess: Zuschneiden der SMC-Halbzeuge, Stapeln der Zuschnitte/Dosieren des BMC → Einlegen Zuschnitte bzw. Formmassen in das beheizte Presswerkzeug → Schließen des Presswerkzeuges, Verpressen der Formmassen → Aushärten der Formmassen → Öffnen des Presswerkzeuges und Entformen des Formteils → Ggf. Nachbearbeitung des (noch warmen) Formteils → Komplettierung des Formteils, Auslieferung/ Lagerung	
Beim Pressen von SMC/BMC wird durch die Vorwärme der Werkstoff fließfähig gemacht → dadurch wird die Vernetzung angeregt → Aushärtung → zur Bearbeitung Zeitfenster lediglich ca. 60s Anwendungen: Heckdeckel PKW/ Satellitenschüssel/ Lampengehäuse/	
SMC zu Metall: Gewichtsersparnis/ Funktionsintegration/ Gestaltungsfreiheit/ geringes Gewicht/ keine Korrosion	
SMC zu GMT: Vorteile → schwer entflammbar (flammgeschütztes SMC brennt nicht, schmilzt nicht und tropft nicht)/ höhere Steifigkeit/ höhere Temperaturstabilität/ bessere Lackierbarkeit (GMT meist mit PP Matrix) Nachteile → höhere Dichte als GMT/ höhere Materialkosten als GMT SMC: Schnipsel auf Folie; GMT: Kunststoff auf Gewebe	
Prozessablauf RIM: → Homogenisierung der Ausgangskomponenten → Förderung und exakte Dosierung der Reaktionspartner → intensive Vermischung → Eintrag des Reaktionsgemisches in das temperierte Werkzeug, geschlossen oder offen → Reaktion im Werkzeug unter Bildung des geschäumten oder massiven Formteils → Entformung → Nach- und gegebenenfalls Weiterbearbeitung	
Wichtigster Schaum Pur (Polyurethan): entsteht aus Polyisocyanat + Polyol, also Schaum im RIM Verfahren → Werkstoff entsteht im Verfahren Hohe Variationsmöglichkeit der Materialeigenschaften in Abhängigkeit von den Eigenschaften des kompakten Materials und der erzielten Dichte des geschäumten Teils. → auch sehr gut zum Hinterschäumen einer Folie o.ä. Das Eigenschaftsspektrum kann durch die Wahl der Grundkomponenten, der Hilfs- und Zusatzstoffe, der Art des Schäumprozesses in weiten Bereichen variiert werden. mögliche Zusatzstoffe z. B.: Fasern, Mineralmehl/ Farbstoffe/ Flammschutzmittel	

07. 2 Einführung Faserkunststoffverbunde

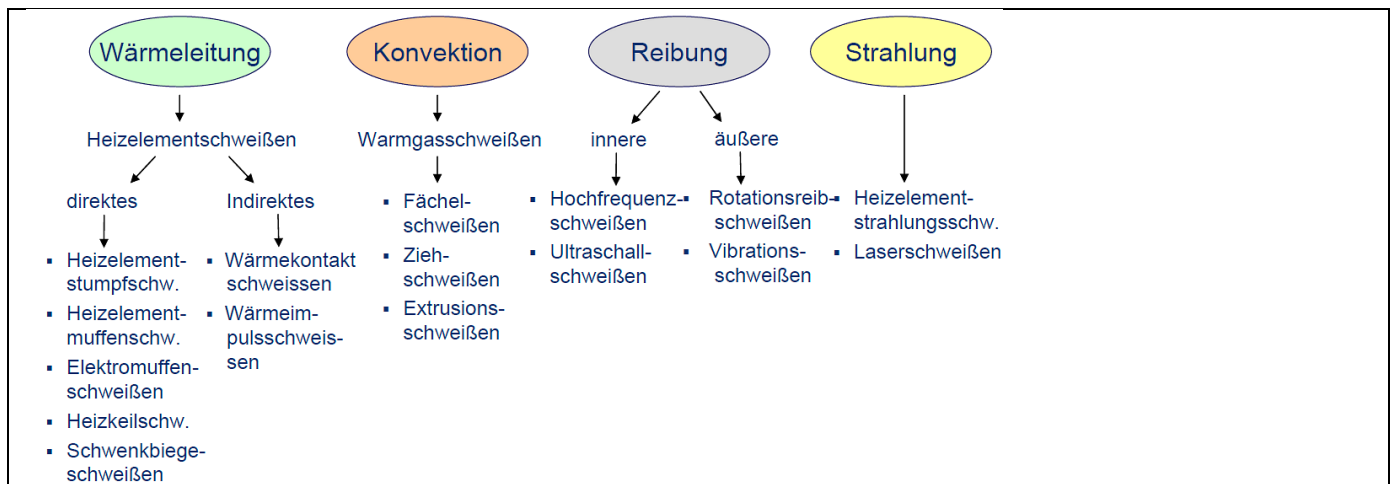
Faserkunststoffe: Die Matrix besteht aus Polymeren und: • gibt der Struktur die Form, • hält die Fasern zusammen, • ermöglicht Kraftübertragung zwischen den Fasern, • verteilt Lastspitzen, • hält die Fasern auf Abstand und • schützt sie vor mechanischer und chemischer Schädigung.
Faser (sehr gute mech Eigenschaften in Faserrichtung) + Matrix (geringe mechanische Eigenschaften, richtungsunabhängig) = Faserverbundwerkstoff (gute mechanische Eigenschaften in Faserrichtung)
Pressen für große Bauteile teuer (Kraft mal Fläche) → Faser in Preform → Kunststoff in Form saugen →

RTM(dabei benötigt Kunststoff geringe Viskosität, also kein Thermoplast)
RTM Zyklus: Kavität präparieren→und beschicken→Werkzeug schließen→ Injizieren→Vernetzen→Werkzeug öffnen→entformen→Kavität säubern Dauer ca.25 min. → 14min allein Vernetzen
Pultrusion: Strangziehen einer 1D endlosfaser(Profile) Faserwickeln mit Kern: Faserwickeln ist ein automatisiertes Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern aus FVK/ Fasern werden über einen Kern gewickelt (wiederverwendbar oder aus löslichen Medium)/ Verfahrensprinzip „Drehbank“
Gewebe → Verweben der Fasern(drüber+drunter) Roving → Fäden in einer Richtung und fixiert Gelege → übereinanderlegen der Fäden (versch. Richtungen)
 Mögliche Fehler: Probleme: CFK ist nicht duktil/ Keine plastische Verformung bei Lastspitzen: Beule federt bei Lastwegnahme zurück. Keine bleibende Beule nach Schlagschaden. →Impacterkennung schwierig. Recycling: thermische Verwertung/ SMC/ CFK-Recyclat

08. Weiterverarbeitung

Beim Thermoformen (wichtigstes Umformverfahren in Kunststofftechnik)werden aus flächigen Kunststoffhalbzeugen dreidimensionale Formteile erzeugt: Prozess: Halbzeug erwärmen→Halbzeug einfahren→Werkzeug schließen→Stempel eintauchen→Formluft einströmen→Formteil abkühlen→Werkzeug öffnen→Formteil entformen→Formteil ausstanzen
Ausgangsmaterial sin Halbzeuge→ bis 2,5mm Folie, ab 2,5mm dicke Platten Häufig eingesetzte Thermoplaste sind: →amorph: PS, PVC, ABS →teilkristallin: PP, PE, PET
Halbzeuge werden vor dem Umformen durch Kontaktheizung (Walzenvorheizung)/ Konvektionsöfen (Vorheizung)/ Strahlungsheizung (Keramikstrahler) auf die Umformtemperatur gebracht
Der Umformtemperaturbereich wird durch die obere und die untere Umformtemperatur bestimmt. Oberhalb dieses Temperaturbereichs kann es zu thermischen Schädigungen, unterhalb zu Mikrorissen beim Umformen im Halbzeug kommen. Vorsicht: Bei zu schnellem Erwärmen kann es zu Schädigungen der Halbzeugoberfläche kommen→möglichst dünnes Halbzeug und langsam, gleichmäßig erwärmen


Thermoformen einseitig: Negativformung → maßgenaue Außenseite (Halbzeug wird in Form gesaugt/ Form=Kuhle, Ergebnis=Ball) Positivformung → maßgenaue Innenseite (Halbzeug wird über Form gestülpt/ Form=Ball, Ergebnis= Schüssel)
Herausforderung gleichmäßige Wanddicken → Vorstrecken des Halbzeuges → Mechanisch (Stempel)/ pneumatisch (vorblasen)
Variierende Prozess- und/ oder Halbzeugqualität führen häufig zu folgenden Problemen: Inhomogene Deformation/ Faltenbildung/ Durchhang/ Einreißen des Halbzeuges/ Geringe Verstreckgrade
Meist wird in Einstationenmaschinen geformt, hier wird aufheizen formen und stanzen in einem Gemacht, und sind meist Plattenautomaten. Praktisch für Artikel die in kleineren und mittleren Losgrößen benötigt werden, schnelle Farbwechsel erfordern oder großflächig sind. (Kühlschränkegehäuse/ KFZ-Interieur/ Karosserieteile) → Taktzeit Gesamtzykluszeit
Mehrstationenmaschinen → erwärmung und Formung versch. Stationen → Zykluszeit=Abkühlzeit Bauteile die mittlere bis sehr hohe Stückzahlen, und geringflächig (Joghurtbecher, Trinkbecher, Keksschalen,...) Ggf wird Extruder vor Maschine geschaltet → Folie kommt warm aus Extruder
Option: Skin- und Blistermaschinen und Form-, Füll- und Siegelmaschinen (FFS) hinter Formstation Formteil wird sofort befüllt versiegelt und ausgestanzt (Multipack Joghurt, Zahnbürsten) → Maschine besteht aus Formstation, Füllstation, Siegelstation, Stanzstation
Thermovormen zu Spritzguss: Vorteile bei der Herstellung technischer Teile durch Umformen: • Hohe Teilemasse (bis 125 kg) und große Formteile (bis 4 m²) möglich. • Flexible Wanddicken (0,05 mm – 16 mm). • Kostengünstig bei kleinen Stückzahlen (geringe Werkzeugkosten). • Geringe Änderungskosten, Farbwechselkosten. • Homogene Mehrschichtverbunde möglich. • Kürzere Taktzeiten. (Verpackungsteile) • Verarbeitung von Halbzeugen. (Verpackungsteile) Nachteile: • Wenig Gestaltungsmöglichkeit (Hinterschnitte, Tiefziehverhältnis begrenzt, keine Rippen, keine Schraubdomen, ...) • Keine gleichmäßige Wanddickenverteilung. • Schwierige Temperaturführung. • Bei vorgegebenem Halbzeug; keine Einflussnahme des Verarbeiters auf die Rezeptur der Folie möglich.
Spanen notwendig bei: der Nachbearbeitung von Formteilen (z.B. Entgraten, Bohren), dem Zuschneiden von Halbzeugen, (z.B. für das Thermoformverfahren), der Herstellung massiver Bauteile (z.B. Modellbau, Zahnräder) oder der Herstellung von Probekörpern für die Schadensanalyse. Bearbeitungsverfahren wie bei Metall: Bohren, Fräsen, Sägen, Schleifen, Polieren, Drehen
Sägen → kleine Zahnteilung mit Hohlgeschliffenen Zähnen aus Schnellarbeitsstahl oder Hartmetall Fräsen → mehr Zähne als für Metall, weniger als für Holz aus Schnellarbeitsstahl oder Hartmetall (meist 2 Schneiden, hohe Schnittleistung nur 1 Schneide), Schnittgeschwindigkeit hoch, Vorschub gering aber zusätzliche Kühlung notwendig Schleifen → mit normalem Schleifpapier zur Nachbehandlung. Duroplaste gut, Thermoplaste schlecht (schmieren) Polieren → Filz oder Schwabbelnscheibe; Thermoplast darf Oberfläche nicht zu warm werden Bohren → steiler Drall (Späneabfuhr) Löcher 0,1-0,05 enger als gebohrt (Ausdehnung durch Bohrwärme) Drehen → Schnittgeschwindigkeiten bis zu 500 m/min Luft und Flüssigkühlung
Schweißen → schmelzfähige Kunststoffe im thermoplastischen Zustand → durch Schweißen verknäueln der Moleküle und gemeinsames Erstarren der Fügepartner
Schweißprozess: Vorbereiten der Fügefläche → Bestücken + Einlegen der Fügepartner → Zufahren der Werkzeuge → Angleichen der Fügepartner → Erwärmen → Auseinander und Zufahren der Fügepartner → Fügen → Abkühlen → Entnahme + Nachbearbeitung Erwärmen bis Abkühlen sind gefügebeflussende Verfahrensschritte



Serienschweißen mit Heizelement:

Prozess: Angleichen → Erwärmen → Umstellen → Fügen → Abkühlen

Vorteile: Hohe Schweißnahtgüte erreichbar/ Sehr prozesssicheres Verfahren/ Fügeflächen in allen 3 Dimensionen möglich/ Kleine und große Bauteile schweißbar/ Leichter Bauteilverzug ist abschmelzbar

Nachteile: Anhaftungen am Heizelement können zu undefinierbaren Schweißnahtfestigkeiten führen/ Lange Zykluszeit (Faustformel: Erwärmzeit 10 s pro mm, Kühlzeit 5 s pro mm Wanddicke)

Ultraschallschweißen:

Prozess: 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

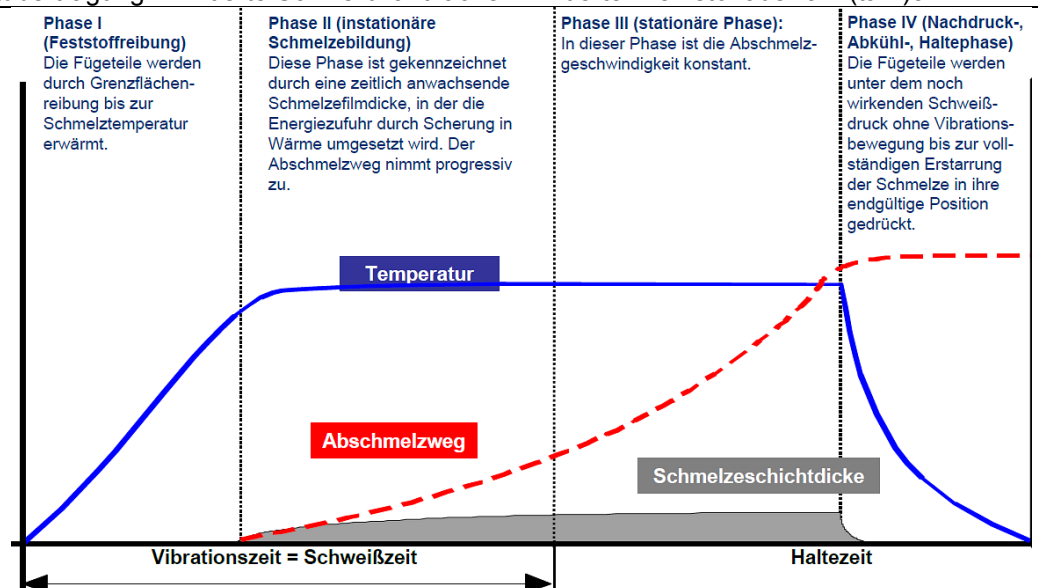
Vorteile: Schnelle Wärmeeinbringung/ Fügeteile werden minimal thermisch belastet

Nachteile: Schlechte Kraftübertragung/ Limitierte Schweißnahtfläche/ Limitierte Werkstoffauswahl ($\tan \delta$)

Vibrationsschweißen:

→ Linear (einfach aber langsam)
→ biaxial (schneller aber komplizierter)

Bsp: Ölwanne/
Saugmodul



Infrarotschweißen:

Prozess: Anfahren der Halbzeuge mit Infrarotstrahlern → Aufheizen → Fügen

Vorteile: Gute Kraftübertragung/ Direkte Schweißnahtkontrolle im Prozess möglich

Nachteile: Längere Zykluszeit als Vibrationsschweißen/ Noch teuer in der Anschaffung

Laserstrahlschweißen:

Prozess: Energie wird durch einen für die Laserstrahlung transparenten Fügepartner direkt in die Fügeebene eingebracht. Durch Absorption der Laserstrahlung wird das absorbierende Fügeteil aufgeschmolzen. Das transparente Fügeteil wird dann durch Wärmeleitung geschmolzen. Spezielle Pigmente erzeugen unterschiedliches Absorptionsverhalten.

Vorteile: Präzise Wärmeeinbringung (Schweißen filigraner Bauteile)/ Fügeteile werden minimal thermisch und mechanisch belastet/ Berührungslos (keine Kontamination).

Nachteile: Kunststoffe müssen für das Laserschweißen „konfektioniert“ werden.

Simultanschweißen: → Kurze Prozesszeit → Keine Relativbewegung → Spaltüberbrückung möglich → Geeignet für Massenproduktion	Radialschweißen: → für unterschiedlichste Durchmesser → Keine Rotationsbewegung → Hoher Durchsatz → Keine Spannvorrichtung erforderlich	Punktschweißen: → Punktförmiger Laserstrahl → Hohe Flexibilität → Beliebige 2D-Fügelinien → Ideal bei häufigem Wechsel der Bauteile	Maskenschweißen: → Linienförmiger Laserstrahl → Beliebige Fügegeometrie in einer Ebene → Schnell und flexibel → Feine und flächige Fügestrukturen → Geeignet für Mikro- und Makroanwendungen	GLOBO Schweißen: → Beliebige Fügegeometrien in 2 oder 3 Dimensionen → Ohne Spannvorrichtung → Optimale Synchronisation von Anpressdruck und Energieeinbringung → Geeignet für Robotereinsatz
Kleben: Elastomer, Duomer und Thermoplast möglich (schweißen nur Thermoplast) Vorteile: Kann zus. Aufgaben erfüllen (Abdichten, Überbrücken von Unebenheiten, Schwingungsdämpfung, thermische oder elektrische Isolation)/ Gute Flächenausnutzung/ Verzugsausgleich in Grenzen möglich Nachteile: Verbindung sollte nur auf Scherung belastet werden/ Aufwendige Vorbereitung der Fügeflächen/ Einige Kunststoffe sind schwer klebbar (PE, PP, PA,...)/ Aushärten oft sehr zeitaufwändig Prozess: Herstellen passender Fügeflächen → Reinigen der Fügeflächen → Vorbehandeln der Fügeflächen → Auftragen des Klebers → Abwarten bis Kleber verbindungsfähig ist → Fügen und Fixieren → Aushärten → Entnahme der Fixierung				
Kleberarten: Physikalisch bindend (Erstarrung durch Abdampfen) → Lösungsmittelklebstoff: Dispersionsklebstoff (Uhu)/ Schmelzklebstoff/ Kontakklebstoff (Pattex) Chemisch bindend (Netzstruktur/ chem. Bindungen): Polymerisationsklebstoff(1k/2K)/ Polyadditionsklebstoff/ Polykondensationsklebstoff(1k/2K)				
Mechanische Adhäsion: Haftung durch Verklammerung Klebstoff und Füge-teiloberfläche Spezifische Adhäsion: Haftung durch Ausbildung zwischenmolekularer Kräfte (Dipole/ Dispersionskräfte/ Wasserstoffbrückenbindung)				
Schnappverbindungen: • zählen zu den formschlüssigen Füge- und Verbindungsverfahren, • ermöglichen das Fügen unterschiedlicher Materialien, • ermöglichen eine äußerst einfache, rasche und kostengünstige Montage, • ersetzen konventionelle Füge-techniken wie Schrauben, Kleben und Schweißen, • können direkt in das Bauteil integrieren werden, • sparen Kosten, da Fügemitte-l und Apparate reduziert werden und • lassen sich in ihrer Gestalt variieren: individuelle Anpassung an die Aufgabe, lös- und unlösbare Verbindungen konstruierbar.				
Nieten(Ultraschall): Gefahren: Loch und Pin-Positionen müssen sehr genau übereinstimmen/ „Spiel“ kaum vermeidbar/ Nur eine Füge-richtung				
Beschichten wegen: Benetzung/ Kratzfestigkeit/ Barrierewirkung/ Haptik/ Ästhetik/ Leitfähigkeit/ Reibung → Benetzung veränderung der Oberflächenspannung(Motorradhelm):Hydrophil/ unbehandelt/ Hydrophob → erhöhung der Kratzfestigkeit (Smart hintere Seitenscheibe aus Polycarbonat) → Barrierewirkung: keine ausdünsten und an oder abgabe von Aromen (PET Flaschen)				
Beschichtungsverfahren: Bedampfen/ Galvanisieren/ Lackieren/ Bedrucken/ Kaschieren/ Beflocken				

09. Konstruieren mit Kunststoffen

Grundlagen der Gestaltung:

Spannungsführende Teile ohne Kerben und Ecken!/ Kriechneigung und Wärmedehnung beachten!/ Große Verformbarkeit von Kunststoffen erlaubt charakteristische Konstruktionen (selbstschneidende

Schraubverbindungen, Filmscharniere, Schnappverbindungen)/ Geringer E-Modul kann durch Verrippung kompensiert werden.
Dichte: sehr gering: 0,8 bis 2,2 g/cm ³ / erlaubt Produkte mit geringen Massenkräften (Gewichtskraft, Trägheitskraft)/ leicht beeinflussbar durch Füllstoffe
Steifigkeit: 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. Energie- Aufnahme durch z.B. Stoß/ erlaubt höhere Toleranzen/ beeinflussbar durch Temperatur, Zeit, Füllstoffe, Medien, ...
Festigkeit: Gering/ erlaubt Sollbruchstellen/ kann durch Fasern im Werkstoff gesteigert werden/ beeinflussbar durch Temperatur, Zeit, Verstärkungsstoffe, Feuchte, ...
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, ...
Gebrauchstemperatur: Begrenzt/ Festigkeit und Steifigkeit sinken rapide mit höherer Temperatur/ ermöglicht erst die wirtschaftlichen Herstellprozesse der Kunststoffverarbeitung/ beeinflussbar durch Füll- und Verstärkungsstoffe, ...
Wärmeausdehnung: Hoch/ erzwingt große Toleranzen zw. großflächigen Bauteilen, insbes. bei Metall/Kunststoff-Verbunden/ beeinflussbar durch Temperatur, Füll- und Verstärkungsstoffe, ...
Wärmeleitfähigkeit: Gering/ erlaubt Wärmeisolation/ erzwingt aufwendige Kühlung der Schmelze bei der Herstellung/ beeinflussbar durch Temperatur, Füll- und Verstärkungsstoffe, ...
Elektr. Eigenschaften: niedrige elektrische Leitfähigkeit/ erlaubt elektrische Isolation/ erlaubt Durchdringen elektro- magnetischer 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
Rippengestaltung: Richtiger Radius/ passende Wandstärke/ Rippen oben abgerundet/ Rippen entformt/ Schmale Rippen → dadurch bessere Spritzbarkeit und verringerte Spannungskonzentration, Verhinderung von Einfallstellen
Einfallstellen können durch Furchen Texturen oder Noppen überdeckt werden Mehrere kleine Rippen/ Wanddickenreduzierung im Übergangsbereich/ Zierrippen und Ziernuten/ Kantenrippen(Rippen stehen nicht genau aufeinander sondern versetzt)
Rippenkreuze: Möglichst gleiche Wanddicken → sonst Schwindung und Verzug - beanspruchungsgerecht (Schachbrett) - fertigungsgerecht (versetzt, nicht Stoß auf Stoß) - Kompromiss zwischen den linken beiden Gestaltformen (Schachbrett mit Rundungen an den Kreuzungen) - Gitterleichtbaustruktur (Wabenstruktur)
Massenanhäufungen vermeiden
Orientierungen beeinflussen die Schwindung (größte Schwindung 90° zu Orientierung)
Schnapphaken: Die Verbindungslasche an einem Mehrfachsteckergehäuse ist dicker, um die Binde-naht-Schwächung auszugleichen Zulässige Kurzzeitdehnung: - Amorphe Kunsstoffe 4-8% von zulässiger Dehnung - Teilkristalline Kunsstoffe 4-1,8% - Glasfaserverstärkte Thermoplaste 2-1% Schnapphaken mit verjüngungen haben eine gleichmäßigere Spannungsverteilung und eine höhere zulässige Durchbiegung als Schnappverschlüsse mit konstantem Querschnitt Schnapphaken Auslegung nach Grenzdehnung (Hakenldehnung kleiner als mögliche Materialdehnung)
Filmscharniere: Keine schroffen Übergänge und Deformation in Scharniermitte

Aus den geometrischen Abmessungen lässt sich unter Berücksichtigung einer Verformung von $\pm \beta$ die vorhandene Randfaserdehnung ε_B vor bestimmen (Auslegung nach Grenzdehnung)

gespritzte Gelenke für thermoplastische Bauteile sind metallischen Gelenken zu bevorzugen: einfacheres Recycling/ einfaches Trennen der Komponenten/ keine Materialverunreinigungen

Reduzierung Winkelverzug:



Kante auf mindestens gleichmäßige Wanddicke runden



Wirksame, jedoch aufwendige Wanddickenreduzierung (je nach Entformungsrichtung Hinterschneidung!)



Werkzeugtechnisch einfache Wanddickenreduzierung



Ausführung mit Außenecke; innen freigestochen



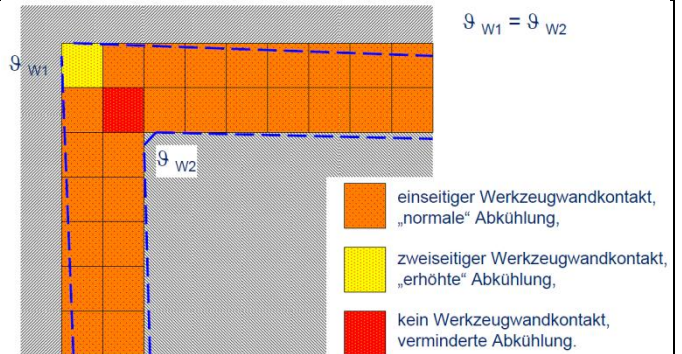
Ausführung mit scharfkantiger Außenecke



Vergrößern der Kühlleistung auf der Innenseite durch Abstimmung der Kern- und Gesenkttemperatur



Vergrößern der Kühlleistung mittels Kupfer-(Beryllium)-Einsätzen



Regel: Was später erkaltet, steht unter Zugspannung!
Ungleichmäßig verteilte Eigenspannungen bewirken Verzug!

Kühlung von Flächen:

Verwerfungen oder Eigenspannungen können durch unterschiedliches Kühlen verursacht werden. Dies führt zu unterschiedlicher Schwindung. Wärmere Bauteiloberflächen schwinden nach dem Auswerfen stärker

„Heiße“ Oberfläche

(unzureichende Kühlung)→

- Höhere Ausstoßtemperatur
- Niedrigmodulige Materialien
- Wenige Versteifungs- elemente

→Verwerfung(Krümmung)

„Kalte“ Oberfläche

(ausreichende Kühlung)→

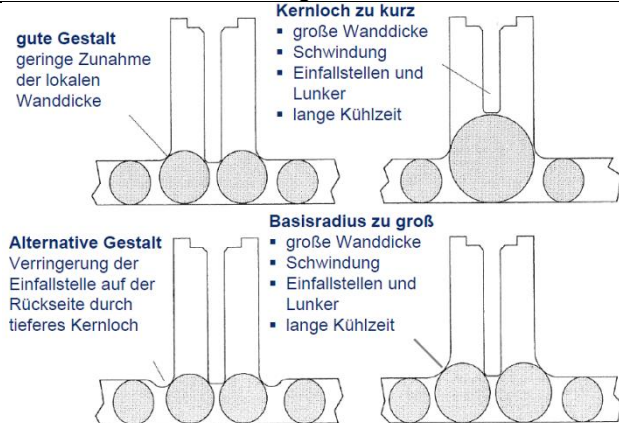
- Niedrige Auswurftemperatur
- Hochmodulige Materialien
- Viele Versteifungs- elemente

→Eigenspannung(keine Krümmung)

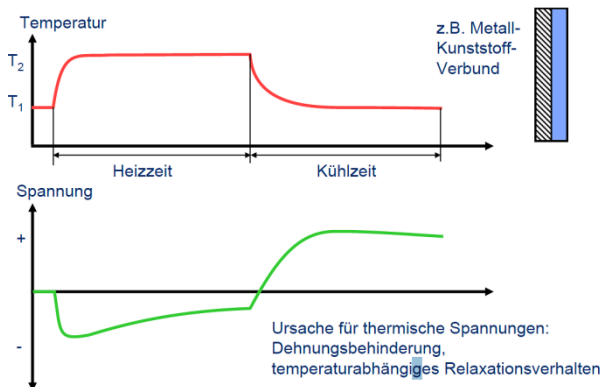
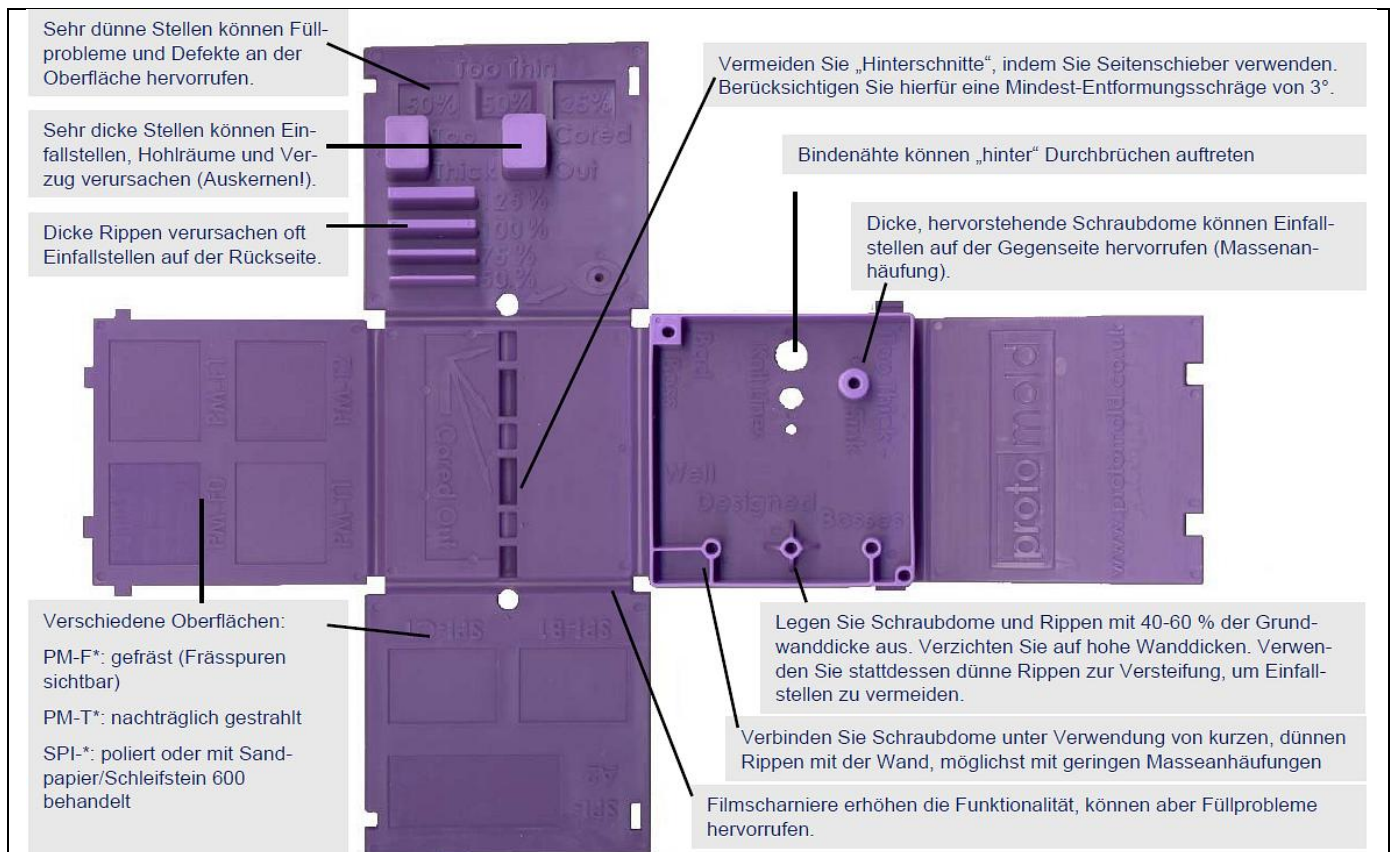
Kühlen von Ecken:

Unterschiedliches Kühlen der Bauteildicke kann auch durch eine unterschiedliche Kavität- und Kerengeometrie verursacht werden. Kerne sind in der Regel deutlich schwieriger zu kühlen als Kavitäten.

Bei teilkristallinen Kunststoffen ist das Einhalten einer einheitlichen Wanddicke wegen der erhöhten Schwindung von besonderer Bedeutung→Vermeidung von Bauteilen mit unterschiedlicher Wanddicke:
unterschiedliche Schwindung im Übergangsbereich/ keilförmige Übergänge bevorzugen/ wenn es geht, auskernen
→Gewölbte Oberflächen gewährleisten bessere Formbeständigkeit



Schraubdomen sind normalerweise freistehend, versteift oder über dünne Rippen mit dem Bauteilrand verbunden, um die Biege- und Torsionssteifigkeit zu erhöhen und das Einschrauben zu erleichtern.



Bei Metall-Kunststoff-Verbindungen ergeben sich unter Temperaturwechsel immer thermische Spannungen! Geeignete Gestaltung oder Werkstoffwahl kann diese reduzieren!
 → Metall-Kunststoffverbindungen immer einen Dehnungsfreiheitsgrad für den Kunststoff lassen
 → runde Einsatzteile ohne scharfe Kanten sind vorzuziehen

Werkstoff- und fertigungsgerechte Gestaltung von Spritzgießprodukten:

- Wanddicke so gering wie möglich, um eine geringe Zykluszeit zu realisieren. Hierbei muss allerdings die Fließfähigkeit des einzusetzenden Materials mit berücksichtigt werden.
- Gleiche Wanddicken vorsehen/Masseanhäufungen vermeiden, damit Abkühlen und Schwindung gleichmäßig, sowie Lunker und Verzug vermieden.
- Ecken und Kanten mit Radien versehen, 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.

Werkstoff- und fertigungsgerechte Gestaltung von Pressprodukten:

- Wanddicke so gering wie möglich, um eine geringe Zykluszeit zu realisieren.
- Gleiche Wanddicken vorsehen/Masseanhäufungen vermeiden, um gleichmäßiges Abkühlen und gleichmäßige Schwindung zu erzielen, sowie Lunker und Verzug zu vermeiden.
- Ecken und Kanten mit Radien versehen, um einen guten Fluss des Materials und eine gute Entformung zu ermöglichen.

- Rippen pressgerecht gestalten, damit keine Einfallstellen auf der Rückseite zu erkennen sind.
- Ausreichende Konizitäten vorsehen, um das gepresste Produkt gut entformen zu können.
- Hinterschneidungen vermeiden, um ein möglichst einfaches Werkzeugkonzept zu ermöglichen.
- Die Positionierung des Materialzuschnitts beachten, um wenig Bindenähte und geringe Fließwege zu erreichen.
- Gewinde und Formteile pressgerecht gestalten, um Nachbearbeitung zu vermeiden.

Werkstoff- und fertigungsgerechte Gestaltung von Blasformprodukten:

- Gleiche Waddicken vorsehen, um gleichmäßiges Abkühlen zu ermöglichen.
- Ecken oder Kanten mit Radien vorsehen, um das Anlegen des Materials zu ermöglichen und die Entformung zu erleichtern.
- Großflächige ebene Flächen vermeiden, um Verwerfungen zu reduzieren,
- Butzen so klein wie möglich halten, um Material zu sparen.

09. Alterung von Kunststoffen

Beständigkeit gegen den Angriff durch Chemikalien abhängig von

- Zusammensetzung des einwirkenden Mediums
- chemischer Zusammensetzung des Polymers (Füllstoffe , Zusatzstoffe)
- Einwirkbedingungen (Temperatur, Dauer, mech. Belastungen)

Chemische Einwirkung (intramolekulare Veränderung)

Reaktion mit Polymer: chem Auf oder Abbau → Ausgeprägte irreversible Veränderung der Werkstoffeigenschaften

Physikalische Einwirkung (intermolekulare Veränderung)

- Eindiffundieren des Mediums, Quellung (bis hin zur Auflösung möglich), Strukturaufweitung
- Zwischenmolekulare Kräfte werden gesenkt, Beweglichkeit der Moleküle nimmt zu
- Evtl. ausdiffundieren von Zusatzstoffen (auch ohne Chemikalien möglich)

→ Härte nimmt ab

→ Glasübergangstemperatur sinkt

→ Eigenspannungen werden abgebaut

Unvernetzte Kunststoffe können stark quellen und sich sogar lösen

Beständigkeit steigt mit Kristallinität

Im gequollenen Zustand ändern sich die physikalischen Eigenschaften des Materials: das Volumen nimmt zu/ die Einfriertemperatur sinkt/ E-Modul und Torsionsmodul fallen ab („Weichmachung“)

Permeationsverminderung:

- Geeignete Werkstoffauswahl
- Barrierschichten in Inneren (PET Flasche O₂ rein, CO₂ nicht raus)
- Äußere Beschichtungen (z. B. Bedampfen)
- Fluorierung, Sulfonierung
- Füllstoffanteile erhöhen
- Kristallinität erhöhen
- Vernetzung erhöhen
- Orientierung erhöhen

1. (Ad-) Sorption

Stoff wird auf die Oberfläche angelagert

2. Absorption

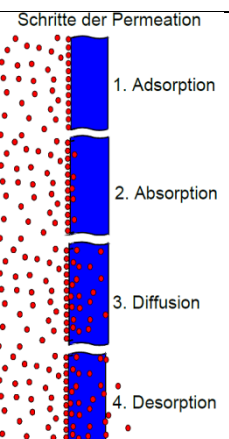
Stoff wird im Kunststoff gelöst

3. Diffusion

Stoff wandert durch den Kunststoff

4. Desorption

Stoff wird von der Oberfläche abgegeben



Alterung:

aller im Laufe der Zeit in einem Material irreversibel ablaufenden chemischen und physikalischen Vorgänge/ Alterung fängt schon bei der Kunststoffverarbeitung an/ Für Prüzzwecke Alterung oft künstlich herbeigeführt

Alterungsursachen:

- Mechanische Belastung: Kräfte (statisch, dynamisch)/ Scherung (bei der Verarbeitung)
- Energiereiche Strahlung: Lichteinwirkung (UV-Strahlung)/ α -Teilchen, Elektronen, Protonen, Neutronen/ γ - und Röntgenstrahlung
- Thermische Energie
- Chemische Medien: Öl, Tenside/ Schadstoffe (z. B. Ozon)
- Natürliche Medien: Luft (O₂) und Feuchtigkeit/ Wasser/ Mikroorganismen

Alterungsmerkmale:

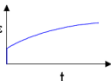
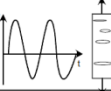
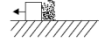
- Visuelle Veränderung: Farbänderung/ Oberfläche/ Spannungsrisse/ Zersetzungen
- Veränderung technischer Eigenschaften: Gewicht/ Festigkeit, Bruchdehnung/ Veränderung thermischer und elektrischer Eigenschaften/ Permeation
- Chemische Veränderung: Reaktionen an Polymer und Additiv/ Molmasse (M_w), Molmassenverteilung
- Versprödung/ Verfärbung/ matt werden/ Spannungsrisse/ Kriechen/ Festigkeitsreduzierung/ Quellung/ Nachschwindung

Alterungsmechanismen:

- chemisch (intramolekular, Hauptvalenz) → Kettenausbreitung/ Kettenspaltung/ Depolymerisation/ Vernetzung/ Kettenverzweigung
- physikalisch (intermolekular, Nebenvalenz) → lösen/ quellen/ Spannungsrisse/ Ausdehnung/ Nachkristallisation/ Molekülbeweglichkeit
- mechanisch → Kriechen/ Ermüdung/ Abrieb

Spannungsrißbildung:

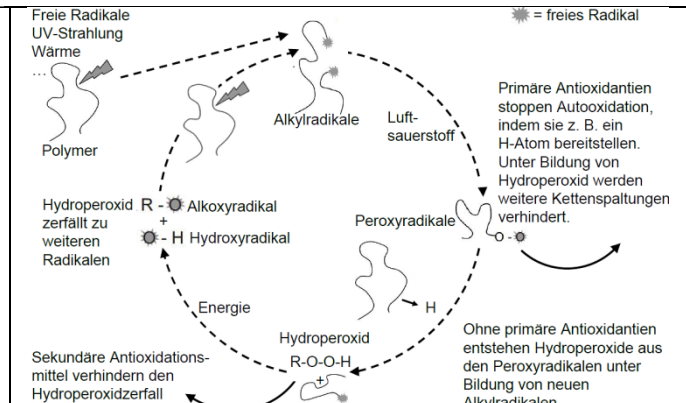
Fehlstelle in Bauteil → Spannung erzeugt Craze → eindringendes Medium weitet Craze (=weißer Riss) zu Riss

Einfluss	Auswirkung	Messgrößen	Einfluss	Auswirkung	Messgrößen
Statisch	Kriechen 	Dehnung Versagenszeit	Wärme	Molekülbeweglichkeit Ausdehnung 	Steifigkeit/Festigkeit Dimension
Dynamisch	Ermüdung 	Lastwechsel Festigkeit		Nachkristallisation 	Kristallinität (Morphologie)
Verschleiß	Abrieb 	Dimension Oberfläche	Medium	Quellen Lösen 	Mechanik Härte
				Spannungs- rißbildung 	Zeitstandfestigkeit

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

Die Reaktionsfähigkeit des Polymers gegenüber Sauerstoff ist abhängig von:

- chemischer Struktur des Makromoleküls
- Löslichkeit und Diffusion des Sauerstoffs im Polymer
- Ordnungsgrad (amorph / kristallin: bei teilkristallinen Polymeren findet die Diffusion und der Angriff nahezu ausschließlich in amorphen Bereichen statt)

**Empfindlichkeit gegen Sauerstoff nimmt zu je nach:**

Molekülaufbau/Konzentration an Doppelbindungen/ Anwesenheit tertiärer C-Atome (steigendem Verzweigungsgrad)/ aktivierten C-H Bindungen (z. B. PA, PET, Polyethern)

Thermooxidation:

Kombinierte Einwirkung von Wärme und Sauerstoff/ Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Polymers/ Reaktionsbeschleunigung durch Temperaturerhöhung/ Widerstandsfähigkeit kann durch Zusatz geeigneter Stabilisatoren verbessert werden/ Thermischer Abbau kann durch Verunreinigungen oder Zusatzstoffe begünstigt werden

Alterungseffekte können durch Erhöhung der Eigenstabilität des Werkstoffes oder durch Stabilisatoren verhindert/verzögert werden:

→ Erhöhung der Eigenstabilität:

- Modifizierung der chemischen Struktur (Copolymerisation)
- Blockierung labiler Endgruppen (POM, PA6)
- Ordnungszustände (Erhöhung des Kristallisationsgrades)

→ Stabilisatoren:

- Radikalfänger (primäre Antioxidantien)
- Costabilisatoren (sekundäre Antioxidantien)
- Lichtschutzmittel

→ Radikalfänger (primäre Antioxidantien):

- Sie schützen während der Herstellung, Formgebung und dem Gebrauch vor Einflüssen von Sauerstoff und Wärme. Im Wesentlichen sind es Protonen-Donoren und Radikalfänger, die zum Abbruch der Kettenreaktion führen. Die Stabilisatoren werden in Abhängigkeit von der Belastung irreversibel verbraucht.

→ Costabilisatoren (sekundäre Antioxidantien)

- Die Wirksamkeit der primären Stabilisatoren wird durch Costabilisatoren signifikant verbessert. Entstehende Hydroperoxide werden zum Alkohol reduziert und damit dem Oxidationsprozess entzogen. Die Stabilisatoren werden in Abhängigkeit von der Belastung irreversibel verbraucht

→ Lichtschutzmittel (UV-Absorber und Quencher werden durch Lichteinwirkung nicht zerstört):

- UV-Absorber (Wellenlängenverschieber)
- Quencher (Löscher)
- Radikalfänger

Arrhenius Ansatz:

Mit künstlicher Alterung bei kurzen Prüfzeiten eine realistische Aussage über die reale Lebensdauer im Feldeinsatz erhalten

10. Einführung in die Schadensanalyse

Schaden:

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

Primärschaden (Ziel der Schadensanalyse):

Zeitlich zuerst eingetretener Schaden, der Ursache für Folgeschäden ist

Vorschaden:

Früher am Bauteil eingetretene Funktionseinschränkung

Folgeschaden:

Schaden, der durch einen vorangegangenen Schaden am gleichen oder einem anderen Produkt ausgelöst wird

Wiederholungsschaden:

Wiederholtes Auftreten eines gleichartigen Schadens

Fehler:

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

Schadensart:

Zuordnung des Erscheinungsbildes zu einem bestimmten Schaden (z. B. Versprödung, Bruch, Undichtigkeit, etc.)

Schadensumfeld:

Gesamtheit der Rahmenbedingungen für die Schadensentstehung

Schadensstelle:

Position des Schadens am Produkt mit dem Primärschadensbereich

Schadensmerkmal:

Charakteristisch erscheinende Kennzeichnung eines Schadens

Schadensursache:

Summe der schadensauslösenden Einflüsse

Schadenshypothese (zentraler Punkt der Schadensanalyse):

Aufgrund des Schadensumfelds wahrscheinliche Schadensart und vermuteter Schadensablauf.

Schadensverhütung:

Vorbeugende Maßnahmen gegen das Auftreten von weiteren Schäden

Referenzprobe/ Vergleichsprobe (Wichtig zur Klärung der Schadensursache):

Ist-Soll-Vergleich zwischen dem schadhaften Produkt und dem neuen / schadensfreien Produkt

Schadensanalyse:

- Schadensbeschreibung → genaue Dokumentation (Spurensicherung)
- Bestandsaufnahme → Angaben zum Produkt (Funktion, Werkstoffe, ...)
- Schadenshypothese → Hypothese für Schäden
- Instrumentelle Analyse → Untersuchungen für oder gegen Hypothesen
- Analyseergebnisse → Bewertung der Ergebnisse und Vergleich mit Hypothese (→ evtl. neue Hypothese)
- Folgerung/Interpretation → Deutung und Interpretation führt zur Schadensursache
- + Schadensabhilfe → Möglichkeiten der Schadensabhilfe, Schadensmaßnahmen
- Untersuchungsbericht → kompletter Bericht für dritte verständlich → kompletter Bericht (Titel, Probleme, Untersuchungen, Folgerungen, Anmerkungen)
- Wissensmanagement → Archivierung und Beachtung der Erfahrungen

Konstruktionsfehler:

Fehl. Maßhaltigkeit / Passgenauigkeit	Schwindung
Lunker (Vakuolen)	Lage des Angusses, Engstelle im Fließweg, Massenanhäufung(en)
Vertiefung an der Formteilerfläche / Einfallstellen	Massenanhäufung(en), große Wanddicken
Kerben und Rissen in Ecken	Unterschiedliches Schwindungsverhalten, Kerbwirkung, Scherorientierung, Strömungstotzonen
Teilfüllung	Zu dünne Fließwege, Wanddickendifferenzen zu groß
Schlechte Abformung der Oberfläche	Nachdruck kann nicht wirken, zu dünne Fließwege, Engstellen
Oberflächenfehler / Rauigkeit	Ungenügende Werkzeugoberflächenbearbeitung
Entformungsbruch	Hinterschneidungen

Verarbeitungsfehler:

Erscheinungen an der Oberfläche	Werkzeugtemp. zu kalt, Massetemp. zu gering, Einspritzgeschw. zu gering
Schlieren	Unverträglichkeit, Feuchtigkeit, thermische Schädigung, Materialverschmutzung
Verformungen	Schwindungsdifferenz, zu geringer / kurzer Nachdruck, Nachkristallisation
Ungenügende Formfüllung	Kurze Einspritzzeit, hochviskose Schmelze, unzureichende Werkzeugentlüftung
Beschädigungen	Thermische Eigenspannungen, unsachgemäße Entformung
Erscheinungen am Anguss	Kühlzeit verlängern, Anguss verkleinern, Entmischung durch Scherung
Erscheinungen im Bindenahtbereich	Einspritzgeschw. zu hoch / niedrig, zu niedrige Masse- und / oder Werkzeugtemperatur
Orientierungen / Eigenspannungen	Zu niedrige Masse- und Werkzeugtemp., scharfkantige Übergänge, Nachdruck zu niedrig
Poren (nicht Lunker!)	Thermische Zersetzung, zu lange Verweilzeiten, Feuchtigkeit
Füll- und Verstärkungsstoffphänomene	Kein / falscher Haftvermittler, extreme Engstelle in Fließweg
Heterogene Gefügestruktur	Unzureichende Plastifizierung, geändertes Nukleierungsmittel, Farbstoff, Additiv
Spannungsüberhöhung	Spitzer Winkel, fehlender / zu kleiner Radius, mechanische Krafteinwirkung
Molekulare Schädigung	Unsachgemäße Trocknung, zu hoher Staudruck / Schneckendrehzahl, zu hohe Temp. im Zylinder / Heißkanal

Werkstofffehler:

Kunststoffart/ Farbmittel, Pigmente/ Füllstoffe / Verstärkungsstoffe/ Andere Zusatzstoffe/ Ungewollte Fremdstoffe

Mechanische Überbeanspruchung:	
Abplatzen	Verformungen, Schlag-Schädigung, Reib- und Schälprozesse
Eindruck, Abformung, punktuelle Dickenreduktion	Schlag-Schädigung, Verdichtung des Materials
Glanzverlust	Reibung, Mikrorissbildung
Glanzzunahme	Polieren, Glätten, red. Oberflächenrauheit
Kratzer und Riefen	Linienartige Materialabtragung
Dimensionsänderung, Verzug	Plastische Deformation, Bildung innerer Oberflächen
Weißfärbung	Crazing, Mikrorissbildung, Änderung der Lichtdurchlässigkeit / -streuung
Risse	Überwindung der Bindungskräfte, Grenzflächenversagen
Bruch	Folge und Endstadium der Rissausbreitung, endgültiges Bauteilversagen
Schadensfeststellung:	
fotografische Dokumentation/ einem Lichtmikroskop/ optisch/ mechanische Prüfung/ spektroskopische Methoden	

11. Nachhaltigkeit

Wie energieintensiv ist die Herstellung eines dm³ Kunststoff im Vergleich zu Weißblech, Glas und Papier (größer, kleiner, gleich)?
Glas am besten dann Papier Kunststoff dann Metall
Nennen Sie Vorteile von Verpackungen aus Kunststoff
Leicht/ wenig Material/ Recyclbar/ günstig/ viel Material wenig Verpackung
Welchen Nutzen haben Verbundfolien und mit welchem Verarbeitungsverfahren werden sie hergestellt?
Sehr dünn→lösemittelhaltige Kleberkaschierung erfolgt der Aufbau der einzelnen Mono-Folien zum Verbund
Nennen Sie Gründe für den Einsatz von Kunststoffen im Bauwesen
Wärmedämmung/ Dachabdeckungen/ Schallisierungen/ Fußböden
Was ist bei einem Brand größere Einflussgröße, die Rahmenbedingungen oder das Brandgut?
Rahmenbedingungen wie Sauerstoffverfügbarkeit, Temperatur, ..
Welches Brandgas ist verantwortlich für die meisten Todesfälle? Entsteht dies nur bei Kunststoffen?
Kohlenmonoxid→ nein auch bei Holz oder Wolle nicht mehr oder weniger toxisch
Gibt es Unterschiede bzgl. des von verschiedenen Kunststoff-Typen ausgehenden Brandgasen?
Bezgl. Das Risikos unterscheiden sie sich kaum
Welche Reihenfolge sollte bei der Verwertung von Wertstoffen eingehalten werden?
Werkstoffrecycling→Rohstoff Recycling→ Verbrennung
Was sind Voraussetzungen für ein sinnvolles Werkstoff-Recycling
Saubere sortenreine Altkunststoffe (Produktionsabfälle)→ Stanzreste wieder in die Schmelze
In welche zwei großen Gruppen kann man die Biokunststoffe unterteilen? Gibt es Biokunststoffe, die beiden zugeordnet werden können?
PLH/PHA/Stärke/CA/ Lignin Bioabbaubare Kunststoffe (fossiler oder nachwachs. Kohlenstoff)→ Verpackung, Landwirtschaft, Gartenbau (Medizintechnik) / Biobasierter Kunststoff (ausschl. nachwachsender Kohlenstoff)→ Verpackungen (Automobil, Konsumelektronik)