

EINFÜHRUNG IN DIE KUNSTSTOFFTECHNIK

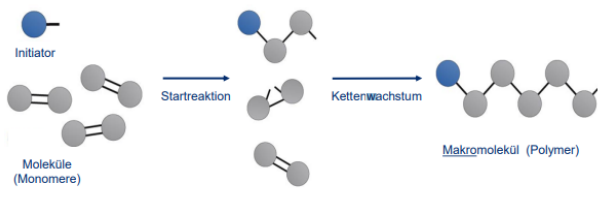
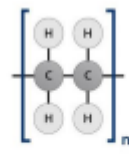
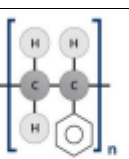
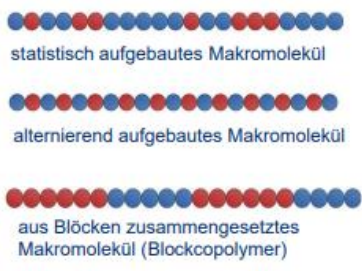
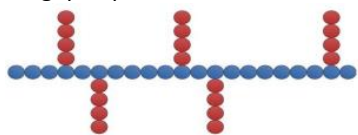
INHALT

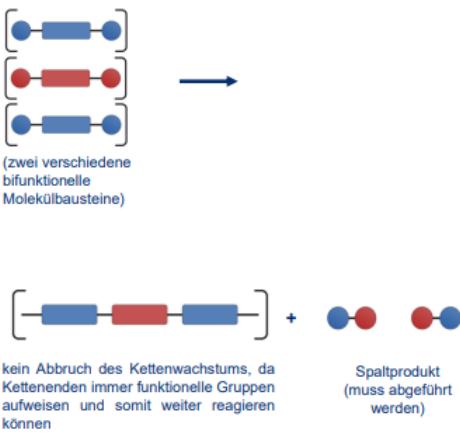
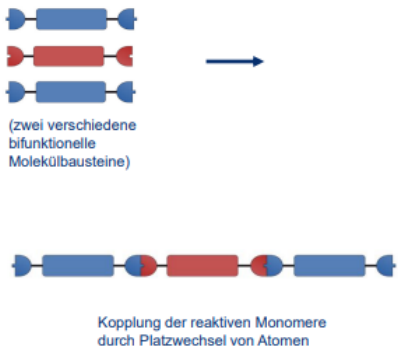
1. Grundlagen der Polymerchemie	2
Grundlagen der Kraftübertragung	10
2. Verhalten in der Schmelze	14
Verhalten als Festkörper	18
3. Beeinflussung der Werkstoffeigenschaften durch Zusatzstoffe	22
Einführung in die Kunststoffaufbereitung	31
4. Kurzdarstellung wichtiger Kunststoffe	34
Kunststoffverarbeitungstechnik	36
Einführung in die Extrusion	36
5. Einführung in das Spitzgiesen	44
6. Prozess, Struktur, Eigenschaften, Beeinflussung durch den Verarbeitungsprozess	53
Verarbeitung von vernetzenden Formmassen	57
Einführung in die Technologie der Faserkunststoffverbunde	62
7. Überblick über die Weiterverarbeitung von Kunststoffen	68
8. Einführung in das Konstruieren mit Kunststoffen	81
Nutzen von Prototypen	87
9. Kunststoffe und Umwelt 1 – Abfälle und Gifte	91
10. Kunststoffe und Umwelt 2 – Biokunststoffe und Ressourcenschonung	96

GRUNDLAGEN DER POLYMERCHEMIE

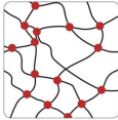
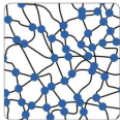
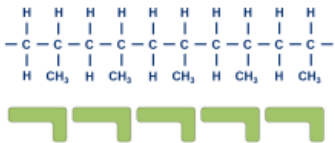
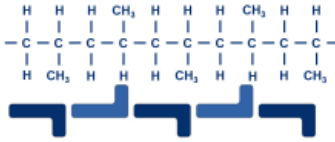
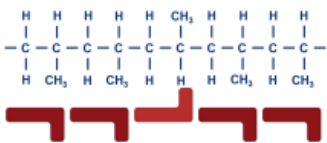
INHALT

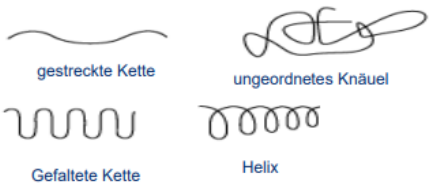
Was ist ein Monomer?	· „mono“; griech.: eins · niedermolekular · reaktionsfähig · funktionelle Gruppen oder Doppelbindungen · Grundeinheit
Was ist ein Oligomer?	· „oligo“; griech.: wenig · 10 bis 30 Struktureinheiten · wachstartige, klebrige Konsistenz
Was ist ein Polymer?	· „poly“; griech.: viel · > 1.000 Struktureinheiten · Makromolekül („makro“; griech.: groß) (lange Ketten, nicht miteinander verbunden)
Aus was werden synthetische Polymere hergestellt?	· Erdöl · Erdgas · Steinsalz · Schwefel · Wasser · Luft
Wie werden biobasierte Polymere hergestellt?	· Polymersynthese in Pflanzen (Stärke, Naturkautschuk, Lignin, Cellulose) · Polymersynthese in Tieren/Menschen (Chitin, Kasein, Spinnenseide) · Polymersynthese in Mikroorganismen (Bakterium) · Monomersynthese in Mikroorganismen (Milchsäurebakterium) + Synthese · Monomere aus Pflanzen (Bioethanol, Rizinusöl) + Synthese (Beide Monomere sind abbaubar, durch Synthese können sie aber Bioabbaubarkeit verlieren!)
Welche Polymerisationsreaktionen gibt es?	· Polymerisation · Polykondensation · Polyaddition
Was ist eine Polymerisation?	Kettenwachstumsreaktion, bei der ungesättigte Moleküle (Monomere) zu Makromolekülen (Polymeren) verknüpft werden. Bsp.: radikalische und ionische Polymerisation z. B. Polyethylen (PE), Polyvinylchlorid (PVC)
Was ist eine Polykondensation?	Stufenwachstumsreaktion, bei der Makromoleküle unter Abspaltung von Nebenprodukten (z.B. Wasser, Alkohol) entstehen. z. B. Polyamid (PA), Polycarbonat (PC) Werden die Nebenprodukte nicht abgeführt, so wird der Reaktionsablauf unterbrochen.
Was ist eine Polyaddition?	Stufenwachstumsreaktion, bei der Makromoleküle durch „Addition“ ohne Abspaltung von Nebenprodukten gebildet werden. z. B. Polyoxymethylen (POM), Polyurethan (PU) Kopplung der reaktiven Monomere entsteht durch den Platzwechsel eines oder mehrerer Atome, die sich relativ

	leicht aus ihrer jeweiligen Endgruppe (-OH, -NH ₂ , -COOH) lösen.
Was ist eine radikalische Polymerisation?	
Was ist Polyethylen?	 Polyethylen mit n Wiederholungseinheiten
Was ist Polyvinylchlorid?	 Polyvinylchlorid mit n Wiederholungseinheiten
Was ist Polystyrol?	 Polystyrol mit n Wiederholungseinheiten
Was ist ein Copolymer?	Polymere müssen nicht aus einer Art Monomer bestehen, sondern können aus verschiedenen Monomeren aufgebaut sein. Die Polymerisationsreaktion wird dann als Copolymerisation bezeichnet und die daraus gebildeten Makromoleküle als Copolymere.  statistisch aufgebautes Makromolekül alternierend aufgebautes Makromolekül aus Blöcken zusammengesetztes Makromolekül (Blockcopolymer)
Was ist ein Pfropfcopolymer?	· Eine spezielle Form der Copolymer · Polymere mit einer homogenen Hauptkette, auf die kürzere Seitenketten einer anderen Monomersorte aufgepfropft sind 

Wie läuft eine Polykondensation ab?	 (zwei verschiedene bifunktionelle Molekülbausteine) kein Abbruch des Kettenwachstums, da Kettenenden immer funktionelle Gruppen aufweisen und somit weiter reagieren können Spaltprodukt (muss abgeführt werden)
Wie läuft eine Polyaddition ab?	 (zwei verschiedene bifunktionelle Molekülbausteine) Kopplung der reaktiven Monomere durch Platzwechsel von Atomen
Was sind metallische Bindungen?	· Gekennzeichnet durch frei bewegliche (delokalisierte) Elektronen im Metallgitter · Außenelektronen (Valenzelektronen) der Metalle, die sich auf der „äußersten Schale“ befinden, sind nur schwach gebunden und werden leicht vom Atom abgetrennt Metall · Gitter aus positiv geladenen Metallionen, „Atomrümpfe“ · Außenelektronen sind frei beweglich, nach Fermi: „Elektronengas“ Freie Elektroden · Hohe elektrische Leitfähigkeit · Magnetismus · Hohe Wärmeleitfähigkeit von Metallen
Was sind Atombindungen?	· Sie wird auch chemische Bindung genannt. · ...bildet sich besonders zwischen Nichtmetallen aus. · Eine Atombindung besteht aus einem bindenden Elektronenpaar, das von zwei Außenelektronen (Valenzelektronen) gebildet wird. → Es hat eine bestimmte Wirkungsrichtung („gerichtet“). → Es bestimmt damit die geometrische Struktur einer Verbindung (im Gegensatz zum Elektronengas). Bindungsenergie · beschreibt die Festigkeit einer Bindung „Chemische Reaktion“ · ist das Knüpfen oder Trennen einer Atombindung

Was beschreibt die Oktettregel?	Wenn Atome eine voll besetzte Außenschale haben (acht Valenzelektronen), dann bezeichnet man dies als Edelgaskonfiguration und die Atome als Edelgase. Ein optimaler Zustand ist erreicht und sie sind reaktionsträge. Alle übrigen Atome · haben weniger als acht Valenzelektronen, · geben Valenzelektronen ab oder nehmen Valenzelektronen auf, um eine voll besetzte Außenschale zu erhalten und gelten als · reaktionsfreudig. Oktettregel: Alle Elemente sind bestrebt, eine voll besetzte Außenschale zu haben, um die Edelgaskonfiguration zu erreichen. An der Platzierung der Atome im Periodensystem kann erkannt werden, wie viele Außenelektronen abgegeben oder aufgenommen werden, d. h. wie hoch die „Bindigkeit“ eines Atoms ist.
Was sind Hauptvalenzbindungen?	· Chemische Bindungen (stärker) · ist ein weiterer Name für Atombindungen. · verbinden die Atome in den Polymerketten. · Weitere Bezeichnungen: Kovalente Bindung, homöopolare Bindung, Elektronenpaarbindung
Was sind Nebenvaleanzbindungen?	· Physikalische Bindungen (schwächer) · beschreiben die Art und Größe der zwischen den Polymerketten bestehenden Anziehungskräfte. · Weitere Bezeichnungen: Zwischenmolekulare Kraft, Nebenvaleanzkraft, Sekundärbindung.
Zusammenfassendes Bild Bindungskräfte	Innermolekulare chemische Bindungskräfte („Hauptvalenzbindungen“) übliche Schreibweise: —C—C— Intermolekulare physikalische Bindungskräfte („Nebenvaleanzbindungen“): ▪ Dispersionskräfte, ▪ Induktionskräfte, ▪ Dipol-Dipol-Kräfte, ▪ Wasserstoffbrückenbindungen Merke: Chemische Bindungskräfte sind sehr stark; physikalische Bindungskräfte sind weniger stark und lassen sich zudem durch Wärme und Lösungsmittel noch mehr schwächen.
Was ist die Erstarrung von Polymeren?	„Die Erstarrung ist der Übergang vom flüssigen in den festen Aggregatzustand. Dieser erfolgt bei chemisch einheitlichen Werkstoffen beim Unterschreiten der druckabhängigen Erstarrungstemperatur. Das Erstarren von Stoffen, die unter Normbedingungen flüssig sind, nennt man Gefrieren.“ Die Erstarrung ist bei manchen Polymeren irreversibel.
Welche verschiedenen Kunststoffe gibt es?	· Thermoplast · Elastomer · Duromer
Was ist ein Thermoplast?	· Griechisch: „thermos“ = warm, „plasso“ = formen

	· Unvernetzt · Eigenschaften von Temperatur abhängig · Schmelzbar · löslich 
Was ist ein Elastomer?	· Griechisch: „elastos“ = dehnbar · Schwach chemisch vernetzt · Nachgiebig, hohe Dehnbarkeit · Elastisch (zurückstellbar) · Nicht schmelzbar · Nicht löslich, aber quellbar 
Was ist ein Duromer?	· Griechisch: „durar“ = geduldig, „mer“ = Teil · Stark chemisch vernetzt · Steif, geringe Dehnbarkeit · Elastisch (zurückstellbar) · Nicht schmelzbar · Nicht löslich, nicht quellbar 
Was ist ein thermoplastischer Elastomer (TPE)?	· Dehnfähig, fast wie Elastomere · UND: thermoplastisch verarbeitbar · Blockcopolymer · Blend
Was versteht man unter der Konfiguration?	· beschreibt die räumliche Anordnung der Atome und Atomgruppen im Molekül bei gleicher Konstitution → Taktizität
Was heißt isotaktisch aufgebaut?	isotaktisch 
Was heißt syndiotaktisch aufgebaut?	syndiotaktisch 
Was heißt ataktisch aufgebaut?	ataktisch 
Was versteht man unter der Primärstruktur?	· beschreibt den strukturellen Aufbau (Konstitution) eines Polymers und die räumliche Anordnung der Atome (Konfiguration) innerhalb des Polymers · beeinflusst die chemischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften. · besonders durch die Konfiguration werden auch die Sekundär- und Tertiärstrukturen beeinflusst, welche ebenfalls einen großen Einfluss auf die Eigenschaften haben.
Was versteht man unter der Sekundärstruktur?	· beschreibt die Anordnung von Kettensequenzen und die geometrische Form eines einzelnen Makromoleküls. · wird durch die sog. Konformation beschrieben. · beschreibt die geometrische Form eines Polymers (Konformation), die durch Drehung um Bindungsachsen eingenommen wird.

Was versteht man unter Konformation?	· gibt die genaue räumliche Anordnung eines Polymeren mit definierter Konstitution und Konfiguration wieder. · unterschiedliche Konformationen entstehen durch Rotationen um Bindungsachsen von Einfachbindungen.
Nenne Beispiele der Sekundärstruktur.	 gestreckte Kette ungeordnetes Knäuel Gefaltete Kette Helix
Was versteht man unter der Tertiärstruktur?	· beschreibt die übergeordnete räumliche Anordnung von Polymerketten untereinander, d. h. die dreidimensionale Anordnung der gestreckten Ketten, Knäuel, Faltungen, Helices etc.
Welche Tertiärstrukturen gibt es?	· Amorphe Strukturen · Teilkristalline Strukturen
Was versteht man unter amorphen Strukturen?	· Viele Makromoleküle sind ungeordnet nebeneinander bzw. ineinander verschlungen, ähnlich wie die Fasern in einem Wattebausch. · Die Makromoleküle besitzen aufgrund ihrer unregelmäßigen Struktur keine Fernordnung, sondern lediglich eine Nahordnung (Größenordnung $<1\ \mu\text{m}$). D.h. diese können nicht mehr mit dem Lichtmikroskop erkannt werden  amorphe Knäuelstruktur (wattebauschartig) (Grundsätzlich bei vernetzten Kunststoffen der Fall) (ein aus amorphen Polymeren hergestellter Kunststoff erscheint ohne Zusatzstoffe transparent) · Bsp: PS, SAN, PVC, PMMA, PC
Was versteht man unter teilkristallinen Strukturen?	· Dies sind Polymere mit „schlanken“ Molekülen, also ohne „sperrige“ Substituenten. · Die Moleküle können sich stellenweise dicht packen („kristallisieren“); es wirken hohe Nebenvalenzkräfte. · Polymere besitzen eine Fernordnung, die mit dem Lichtmikroskop sichtbar gemacht werden kann.  amorphe Phase kristalline Phase amorphe Phase · Bsp: PE, PP, PA, POM
Was sind Kunststoffe?	· Kunststoffe sind Werkstoffe für die Herstellung von flachen od. 3D-Bauteilen. Hierfür werden Polymere mit Zusatzstoffen zu Kunststoffen aufbereitet
Was sind Kunstfasern?	· Chemie- oder Kunstfasern sind Monofilamente, ebenfalls aus aufbereiteten Polymeren, allerdings mit anderen Zusatzstoffen. Sie sind Teil der Textiltechnik und werden nicht Kunststoffe genannt
Was sind Beschichtungen?	· Beschichtungen (z. B. Lacke oder Klebstoffe) benötigen eine Oberfläche als Substrat. Beschichtungen basieren meist ebenfalls auf Polymeren, werden aber nicht als Kunststoffe bezeichnet.
Was sind Additive?	· Es gibt Funktionszusatzstoffe (Additive), welche ebenfalls auf Polymeren basieren, aber ihre Aufgabe ist

	es, vielen anderen Werkstoffen zusätzliche Funktionen oder Eigenschaften zu geben. Auf Polymeren basierende Additive werden ebenfalls nicht Kunststoff genannt.
Skizziere die Herstellung von Monomer zu Kunststoffbauteilen/Textilien.	<pre> graph LR Monomere -- Synthese --> Polymere Polymere -- Aufbereitung --> Polymere Polymere -- Kunststoffverarbeitung --> Kunststoffbauteile Kunststoffbauteile --- Kunststoffindustrie[Kunststoff-industrie] Polymere -- Textilverarbeitung --> Textilien Textilien --- Textilindustrie[Textil-industrie] Polymere -- Textilverarbeitung --> Kunstfasern Kunstfasern -- Textilverarbeitung --> Textilien </pre>
Skizziere die Herstellung von Monomer zu beschichteten Oberflächen/andere Materialien.	<pre> graph LR Monomere -- Synthese --> Polymere Polymere -- Aufbereitung --> Polymere Polymere -- beschichten --> beschichteteOberflächen[beschichtete Oberflächen] beschichteteOberflächen --- BeschichtungsIndustrie[Lack-, Papier-, Leder-, Textil-, Kunststoff-industrie] Polymere -- dosieren --> inAndereMaterialien[in andere Materialien] inAndereMaterialien --- AdditiveIndustrie[Lebensmittel-, Kosmetik-, Reinigungs-, Kunststoff-, Lack-industrie] </pre>
Was sind weitere Einsatzgebiete von Polymeren?	• Ein weiteres Einsatzgebiet von Polymeren in gelöster Form und nicht als Kunststoff ist die Lebensmittel-, Kosmetik- und Pharmaindustrie, wobei diese verschiedensten Funktionen übernehmen können. • Filmbildner • Kosmetischer oder pharmazeutischer Wirkstoff • Konsistenzgeber

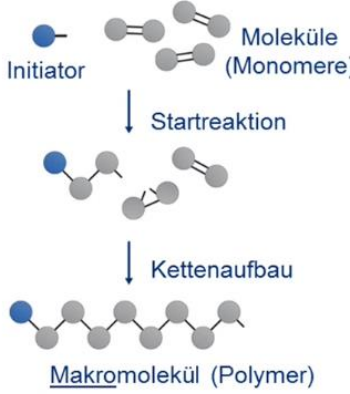
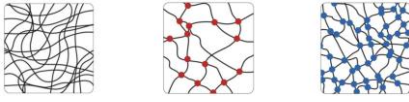
KAHOOT!

Auf welche Art können biobasierte Polymere nicht erzeugt werden?	a. durch Polymersynthese in Pflanzen b. durch Polymersynthese in Mikroorganismen c. durch Monomersynthese von Naphthaprodukten d. durch Monomersynthese von Pflanzen (c)
Wie viele verschiedene Monomere sind für die Kunststoffherstellung von Bedeutung?	a. 3 b. 30 c. 10.000 d. 100.000 (b)
Welche Aussage ist falsch?	a. Die radikalische Polymerisation ist eine Kettenwachstumsreaktion, bei der ungesättigte Moleküle (Monomere) zu Makromolekülen verknüpft werden. b. Die Polykondensation ist eine Stufenwachstumsreaktion, bei der Makromoleküle unter Abspaltung von Nebenprodukten, z. B. Wasser, entstehen. c. Die Polyaddition ist eine Stufenwachstumsreaktion, bei der Makromoleküle durch „Addition“ ohne Abspaltung von Nebenprodukten gebildet werden.

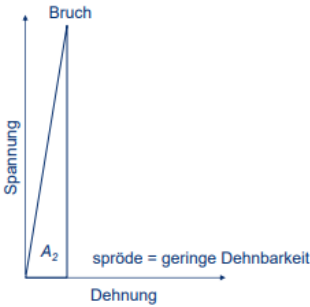
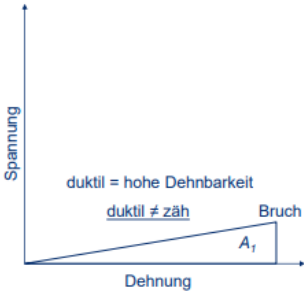
	d. Die Polykondensation ist eine Kettenwachstumsreaktion, bei der Makromoleküle unter Abspaltung von Nebenprodukten, z. B. Wasser, entstehen. (d)
Was sind innermolekulare chemische Bindungskräfte?	a. Dipol-Dipol-Kräfte b. Dispersionskräfte c. Atombindungen d. Wasserstoffbrückenbindungen (c)
Welche Aussage trifft auf Elastomere nicht zu?	a. elastisch b. nicht löslich c. steif d. quellbar (c)
Was beschreibt die Primärstruktur?	a. den strukturellen Aufbau (Konstitution) der Polymere und deren räumliche Anordnung (Konfiguration) b. die Konformation, also die Anordnung von Kettensequenzen und die geometrische Form c. sogenannte Überstrukturen mehrerer makromolekularer Ketten d. die Rotationen von Einfachbindungen. (a)
Welche Eigenschaft ist bei teilkristallinen Polymeren geringer als bei amorphen?	a. Dichte b. Festigkeit c. Transparenz d. Steifigkeit (c)

LERNSTOPP

Ausgangsstoffe für die chemische Synthese von Makromolekülen sind niedermolekulare Verbindungen (Monomere). Je nach Art der ablaufenden chemischen Reaktionen unterteilt man in drei Klassen von Polymerisationsreaktionen. Nennen Sie diese und zeichnen Sie eine Skizze zur Erläuterung.	(zwei verschiedene bifunktionelle Molekülbausteine) Polyaddition (zwei verschiedene bifunktionelle Molekülbausteine) Polykondensation Spaltprodukt
---	---

	 Radikal. Polymerisation
Gibt es einen Unterschied in der Bindungsstärke von Hauptvalenzbindungen und Nebenvalenzbindungen? Begründen Sie.	Hauptvalenzbindungen sind um ein Vielfaches stärker (10 bis 100-fach) als Nebenvalenzbindungen. Hauptvalenzbindungen sind chemische Bindungen, während Nebenvalenzbindungen nur physikalische Bindungen sind (lösbar durch Temperatur oder LM).
In welche drei Hauptgruppen können die Kunststoffe unterteilt werden? Ordnen Sie diese aufsteigend in Bezug auf den innermolekularen Vernetzungsgrad (kovalente Vernetzungsdichte) und zeichnen Sie den schematischen Aufbau der Ketten.	Thermoplaste – Elastomere – Duromere 
Vernetzte Polymere gelten als unlöslich, sie werden höchstens chemisch angegriffen. Die meisten unvernetzten Polymere lassen sich dagegen in geeigneten Lösemitteln lösen. Erläutern Sie, wie es zu diesem Unterschied kommt.	Vernetzte Polymere sind über Hauptvalenzbindungen miteinander verknüpft. Diese können nicht durch Lösemittel aufgebrochen werden. Nur aggressive Chemikalien, z.B. starke Säuren, können das Polymer zerstören. Zwischen unvernetzten Polymeren bestehen Anziehungskräfte. Diese werden als physikalische Bindung bezeichnet. Kleine Lösemittelmoleküle zwängen sich zwischen die Polymerketten, wodurch der Abstand zwischen den Polymerketten größer wird, was eine Verringerung der Anziehungskräfte bewirkt.
Was versteht man unter Konstitution und Konfiguration? Behelfen Sie sich jeweils mit einer Skizze.	Konstitution: chemisches Aufbauprinzip eines Moleküls aus den Atomen, z.B. Typ der Aneinanderreihung, Art der Endgruppe, Länge der Verzweigungen, etc.  Konfiguration: räumliche Anordnung der Atome und Atomgruppen im Molekül bei gleicher Konstitution isotaktisch  syndiotaktisch  ataktisch 
Polymere werden nicht nur zur Herstellung von Kunststoffen verwendet. Nennen Sie drei Anwendungsgebiete von Polymeren außerhalb von Kunststoffen.	Textiltechnik: Polymere dienen zur Herstellung von Kunst- und Naturfasern Oberflächentechnik: Polymere dienen zur Beschichtung von Oberflächen Funktionszusatzstoffe: Polymere werden für die Verbesserung von Eigenschaften anderer Stoffe (wie Lebensmittel, Pflegemittel, Lacke, Kunststoffe, ...) eingesetzt.

INHALT

Was versteht man unter Festigkeit?	· (Widerstand gegen Rissbildung) · Ein Kunststoff kann aufgrund der Struktur und Ausrichtung der Polymerketten sowie der Art und Ausrichtung von Zusatzstoffen mehr oder weniger Kraft übertragen. Ist der Widerstand gegen Rissbildung hoch, gilt der Werkstoff als „fest“.
Was versteht man unter Steifigkeit?	· (Widerstand gegen Verformung) · Aufgrund der Struktur und Ausrichtung der Polymerketten sowie der Art und Ausrichtung von Zusatzstoffen geben Kunststoffe einer aufgeprägten Beanspruchung mehr oder weniger nach. Ist der Widerstand gegen Verformung hoch, ist der Werkstoff „steif“. Ist der Widerstand gegen Verformung niedrig, ist der Werkstoff „nachgiebig“ oder umgangssprachlich „weich“.
Was versteht man unter Zähigkeit?	· (Energieaufnahmefähigkeit) · Aufgrund von Struktur und Ausrichtung der Polymerketten sowie Art und Ausrichtung von Zusatzstoffen kann ein Werkstoff höhere Energie durch hohe Kraftaufnahme oder durch hohe Verformbarkeit (oder durch beides) aufnehmen.
Wie ist die Spannung definiert?	Spannung: $\sigma = \frac{F}{A_0}$ F = Kraft, die auf den Prüfkörper wirkt A_0 = Querschnittsfläche des Prüfkörpers vor der Belastung
Wie ist die Dehnung definiert?	Dehnung: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ Δl = Längenänderung des Prüfkörpers in Belastungsrichtung l_0 = (Anfangs-)Bezugslänge
Wie ist die Steifigkeit definiert?	Steifigkeit: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ E = Elastizitätsmodul
Zeichne das Spannungs-Dehnungsdiagramm eines spröden Werkstoffs.	
Zeichne das Spannungs-Dehnungsdiagramm eines duktilen Werkstoffs.	
Energieaufnahmefähigkeit eines Werkstoffs	· = Fläche unter dem Spannungs-Dehnungs-Diagramms

	entweder, indem der Stoff viel Spannung aufbauen kann oder indem er eine große Deformation erlebt
Zeichne beispielhaft ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit allen Dehnungen auf.	σ_m: Zugfestigkeit ϵ_m: Dehnung bei Zugfestigkeit σ_b: Bruchspannung ϵ_b: Bruchdehnung σ_y: Streckgrenze ϵ_y: Streckdehnung ϵ_{nb}: nominelle Bruchdehnung
Welche Beanspruchungen und dazugehörige „Antworten“ gibt es?	- Zugspannung im Inneren → Dehnung - Druckspannung im Inneren → Stauchung - Schubspannung im Inneren → Scherung Zugspannung im Inneren (Antwort: Dehnung) Druckspannung im Inneren (Antwort: Stauchung) Schubspannung im Inneren (Antwort: Scherung)
Welche Überlagerungen von Zug/Biege- und Schubbeanspruchungen gibt es?	- Schälbeanspruchung - Biegebeanspruchung - Torsionsbeanspruchung Schälbeanspruchung Biegebeanspruchung Torsionsbeanspruchung
Was sagt die Brown'sche Molekularbewegung?	- Molekülbewegung korreliert mit absoluter Temperatur [K]. - Auch Makromoleküle „schwingen“ stärker bei höheren Temperaturen. - Mittlerer Schwingungsabstand der Ketten erhöht sich bei höheren Temperaturen. → geringere Nebenvalenzkräfte → leichteres aneinander Abgleiten - Bei tiefen Temperaturen hingegen sind Molekülketten „eingefroren“.

Wie verhält sich ein amorpher Thermoplast in Abhängigkeit der Temperatur? (Zustandsbereiche)	
Wie verhält sich ein teilkristalliner Thermoplast in Abhängigkeit der Temperatur? (Zustandsbereiche)	
Wie verhält sich ein Elastomer in Abhängigkeit der Temperatur? (Zustandsbereiche)	
Wie verhält sich ein Duromer in Abhängigkeit der Temperatur? (Zustandsbereiche)	
Was sind Kunststoffe?	Kunststoffe sind Werkstoffe, die aus Polymeren und Zusatzstoffen bestehen. Polymere sind Makromoleküle natürlichen oder petrochemischen Ursprungs

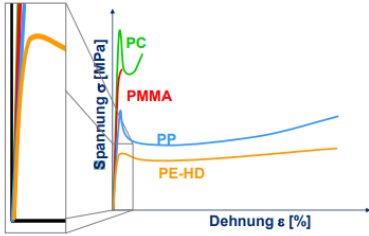
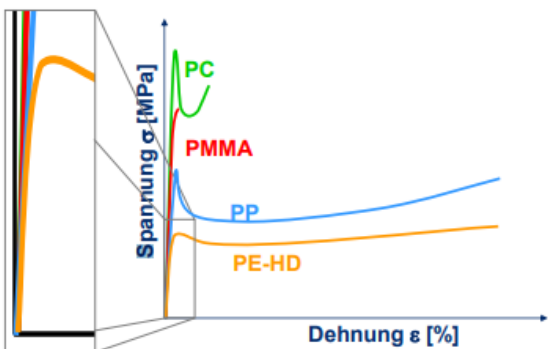
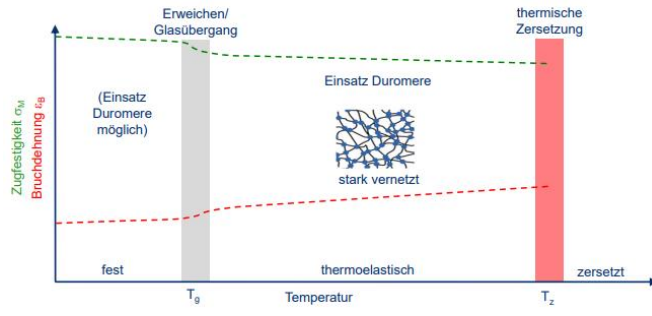
KAHOOT!

Welche Kunststoffe haben ihren Einsatzbereich nicht im thermoelastischen Zustand?	a. amorphe Thermoplaste b. teilkristalline Thermoplaste c. Elastomere d. Duromere
---	--

(a)

LERNSTOPP

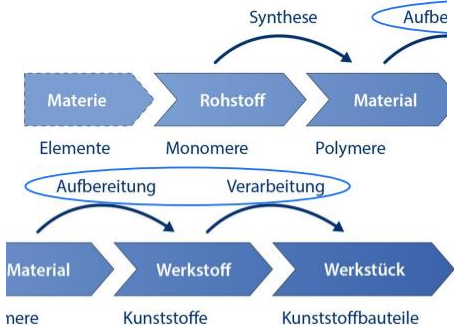
Im Diagramm sind die Spannungs-Dehnungs-Kurven verschiedener	- Am festesten: PC (höchster Spannungswert) - Am steifsten: PC (größte Steigung im Ursprungsbereich)
--	---

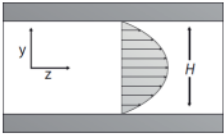
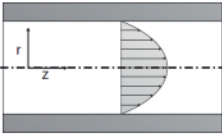
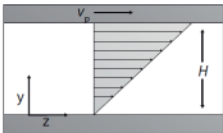
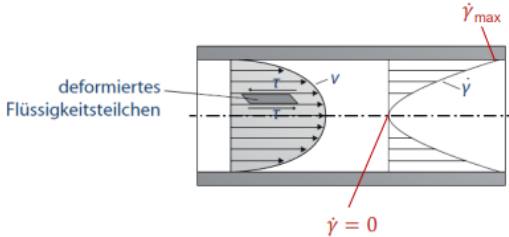
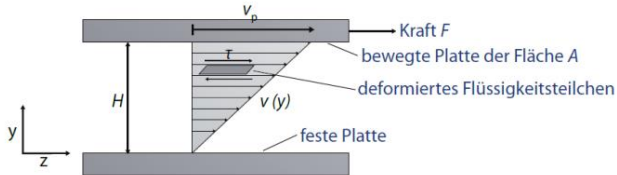
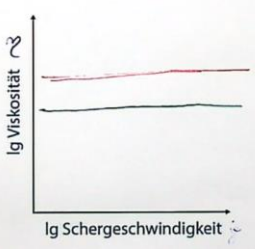
Werkstoffe zu sehen. Benennen Sie welcher Werkstoff am ... • ...festesten • ...steifsten • ...zähesten • ...sprödesten ist. 	• Am zähesten: PP (größte Fläche) • Am sprödesten: PMMA (geringste Dehnfähigkeit) 
Beschreiben Sie mit einem Diagramm, wie sich die Zugfestigkeit bei Duromeren qualitativ in den charakteristischen Übergangsbereichen mit steigender Temperatur verändert. Benennen Sie die Übergangstemperaturen qualitativ.	

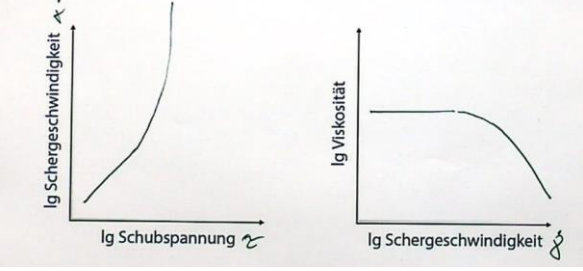
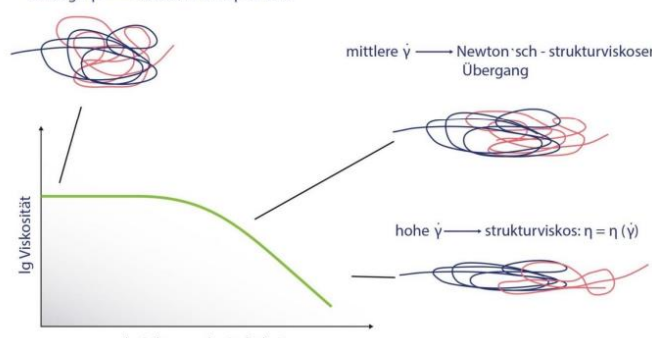
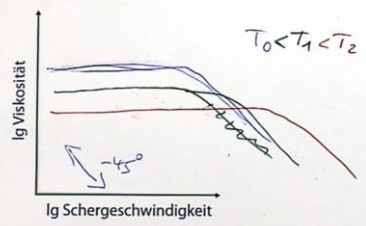
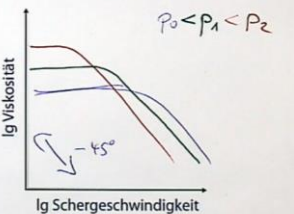
VORLESUNG 2

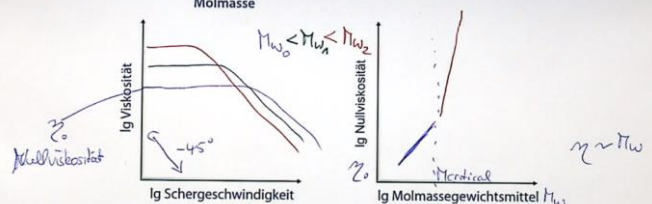
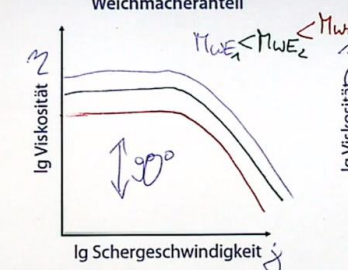
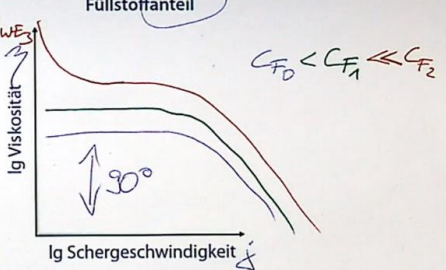
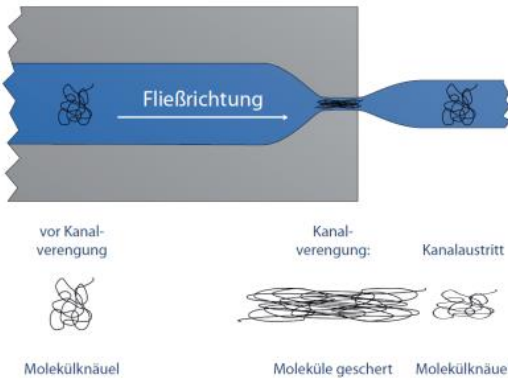
VERHALTEN IN DER SCHMELZE

INHALT

Was ist der Unterschied zwischen Material und Werkstoff?	• „werken“ (altdeutsch): mit dem Werkstoff wird gearbeitet • Material (von „Materie“) ist semantisch näher an chemischen Elementen. • Durch Aufbereitung werden Materialien zu Werkstoffen. • Werkstoffe werden zu „Werkstücken“ (altmodisch für „Produkte“/„Bauteile“)
Wie wird Materie zu Werkstücken?	 • Elemente: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff • Aufbereitung von Polymeren mit Zusatzstoffen • Aufbereitung und Verarbeitung finden stets im schmelzeförmigen Zustand statt.
Was sind fließfähige Medien?	• Fließfähige Medien sind ohne Strukturänderung permanent deformierbar.
Was sind fließfähige Polymere?	• Fließfähige Polymere sind ohne chemische Änderung der Struktur (Konstitution) deformierbar. Thermoplastische

	Polymerketten gleiten unter Krafteinwirkung voneinander ab und bauen die Belastung meist durch die Werkstoffantworten Scherung und Dehnung wieder ab.
Welche Strömungsarten gibt es?	 Spaltströmung  Rohrströmung  Schleppströmung im Zwei-Platten-Modell
Wie sieht das Geschwindigkeitsprofil im Kanalquerschnitt aus?	 Die Relativgeschwindigkeiten über dem Kanal sorgen für eine Schubbelastung an den Volumenelementen. → Die Schmelze wird geschnitten.
Wie verläuft die Scherung bei einer bewegten Platte?	
Wie ist die Schubspannung definiert?	$\tau = \frac{F}{A}$
Wie ist die Schergeschwindigkeit definiert?	$\dot{\gamma} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{v_p}{H}$
Wie ist die Viskosität definiert?	Widerstand gegen Fließen $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$
Wie sieht das Newton'sche Fließverhalten aus?	$\tau \sim \dot{\gamma}$ $\eta = \text{konst.}$ - Beispiele: Wasser, Honig $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$  

Wie sieht ein strukturviskoses Fließverhalten aus?	• $\eta \propto \dot{\gamma}$ • η nimmt mit zunehmendem $\dot{\gamma}$ • Beispiele: Kunststoffschmelze, Blut, Wandfarbe $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$ 
Wie verhalten sich Polymerketten in der Schmelze?	Polymerketten sind in der Schmelze ungeordnet und ineinander verschlauft wie ein Kabelgewirr • Bewegung einer Polymerkette wird durch umgebende Verschlaufungen beschränkt. • Die Polymerkette besitzt somit einen bestimmten Bewegungsraum • Mit zunehmender Temperatur wird die Beweglichkeit jeder einzelnen Polymerkette / Verschlaufung erhöht und somit auch der jeweilige Bewegungsradius. Folglich sinkt die Viskosität mit steigender Temperatur. • Mit zunehmender Deformation treten Entschlafungen auf, die den Röhrenradius und damit den Bewegungsradius vergrößern und folglich zu überproportionaler Reduzierung der Viskosität führen
Strukturviskosität	niedrige $\dot{\gamma}$ → Newton'sch: $\eta = \text{konst.}$ mittlere $\dot{\gamma}$ → Newton'sch - strukturviskoser Übergang hohe $\dot{\gamma}$ → strukturviskos: $\eta = \eta(\dot{\gamma})$ 
Welchen Einfluss hat die Temperatur auf das Fließverhalten?	Temperatur $T_0 < T_1 < T_2$ 
Welchen Einfluss hat der Druck auf das Fließverhalten?	Druck $p_0 < p_1 < p_2$ 

Welchen Einfluss hat die Molmasse auf das Fließverhalten?	Molmasse 
Welchen Einfluss hat der Weichmacheranteil auf das Fließverhalten?	Weichmacheranteil 
Welchen Einfluss hat der Füllstoffanteil auf das Fließverhalten?	Füllstoffanteil 
Beschreibe das elastische Verhalten der Molekülketten.	- Wird Schmelze durch eine Verengung (z.B. Düse) gedrückt, werden Polymerketten in Fließrichtung geschert. - Ausrichtung teilweise durch Valenzwinkeländerungen (elastisch) und teilweise durch Platzwechsel der Molekülketten (plastisch) - Elastische Anteile stellen sich sofort nach Austritt aus Düse zurück. → Strangaufweitung 
Keine Ahnung Folien 37+38	.
Was ist der Unterschied zwischen Schwindung und Schrumpf?	Schwindung beschreibt die volumetrische Abnahme eines Kunstoffs verursacht durch eine thermische Kontraktion sowie eine dichtere Molekülanordnung während des Erstarrens (z. B. beim Kristallisieren eines Thermoplasten oder während der Vernetzung eines Duromeren). Einfallstellen aufgrund stärker schwindender Wanddickenanhäufungen CD-Hülle schrumpft nach

	Warmlagerung bei 100 °C → Einfallstellen! · Schrumpf geschieht ausschließlich durch Rückstellung von Orientierungen. Die Form mag dadurch geändert werden, nicht aber das Volumen → CD-Hülle nach Warmlagerung
--	---

KAHOOT!

Bei strukturviskosen Fluiden sind Schergeschwindigkeit und Schubspannung...	a. linear-proportional zueinander. b. nicht linear-proportional zueinander. c. völlig unabhängig voneinander. d. gleich. (b)
Was geschieht mit den durch die Fließvorgänge eingebrachten, eingefrorenen Molekülorientierungen eines Kunststoffbauteils, wenn dieses längere Zeit bei erhöhter Temperatur gelagert wird (Temperung)?	a. Die Molekülorientierungen werden sichtbar. b. Die Molekülorientierungen bauen ab („relaxieren“). c. Das Tempern hat keinen Einfluss. d. Es kommt zur Strangaufweitung. (b)

LERNSTOPP

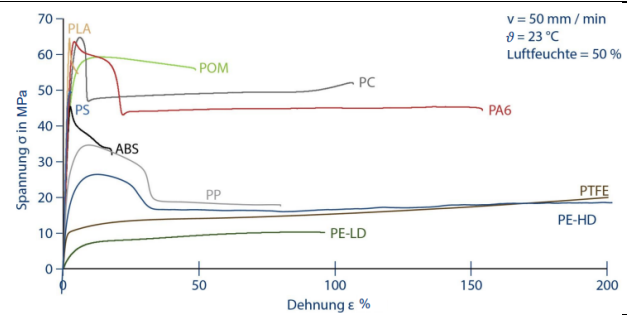
Wodurch werden dem Reptationsmodell nach die Bewegungen von Polymerketten beschränkt?	Bewegung von Polymerketten wird durch umgebende Polymerketten (Verschlaufungen) beschränkt.
Welche Einflussparameter erhöhen die Viskosität? Welche verringern sie?	· Hohe Drücke, höhere Molmasse sowie ein höherer Füllstoffanteil erhöhen die Viskosität · Ein höherer Weichmacheranteil und eine höhere Temperatur verringern die Viskosität

VERHALTEN ALS FESTKÖRPER

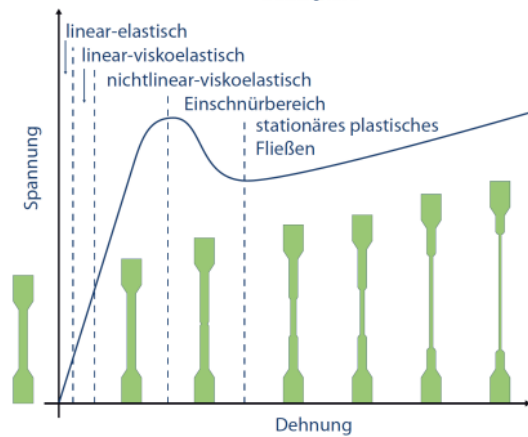
INHALT

Vergleich Eigenschaften	· Kunststoffe sind viel leichter · Geringere Schmelztemperatur → weniger Energie zur Verarbeitung · Hohe Wärmekapazität → Energiespeicher · Wärmeleitfähigkeit sehr gering! → kann man nutzen · Kunststoffe sind teurer als Stahl · Hohe Wärmeausdehnung → blöd · Kunststoffe haben ein deutlich geringeres E-Modul → blöd
Vergleiche das Spannungs/Dehnungs-Verhalten von Stahl und Kunststoffen	$v = 50 \text{ mm / min}$ $\dot{\vartheta} = 23 \text{ °C}$ Luftfeuchte = 50 %

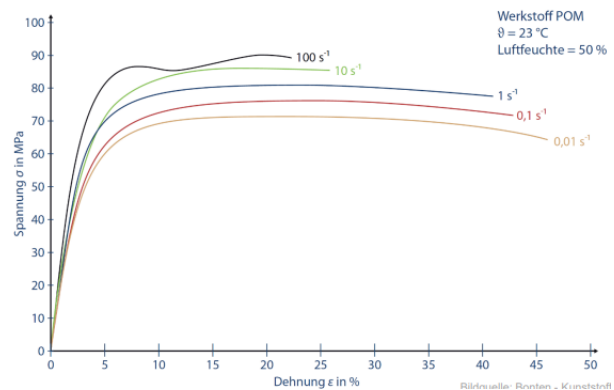
Vergleiche das Spannungs/Dehnungs-Verhalten verschiedener Thermoplaste



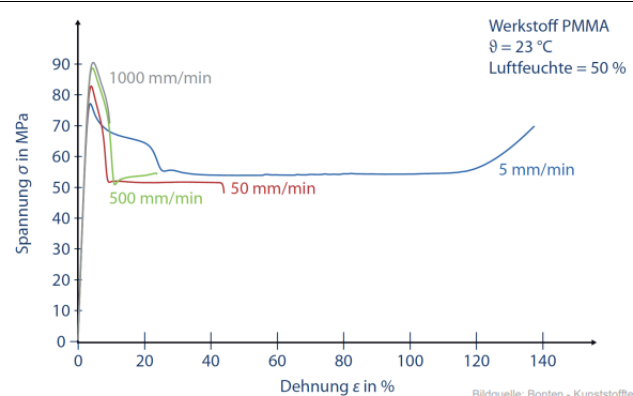
Wie sieht das Verformungsverhalten unter Last aus?



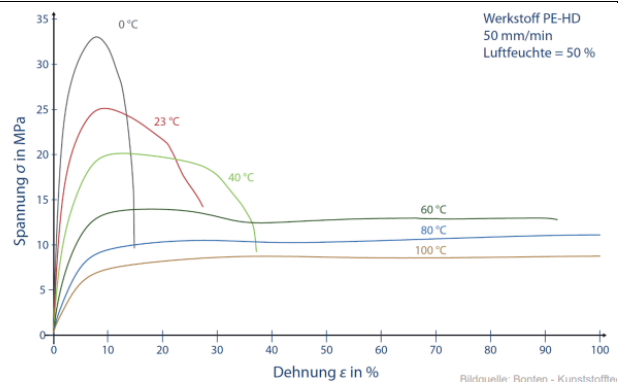
Wie beeinflusst die Dehnungsgeschwindigkeit das Spannungs-Dehnungsverhalten?



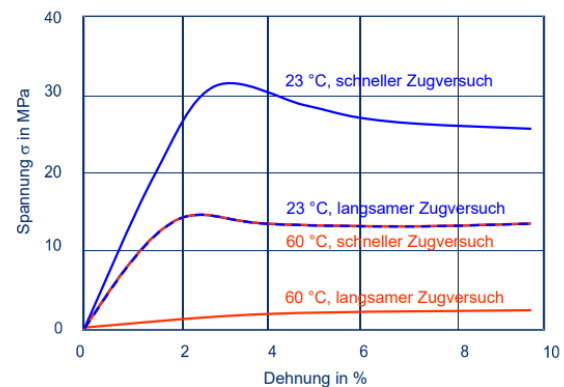
Wie verhält sich die Spannung bei unterschiedlicher Dehngeschwindigkeit?



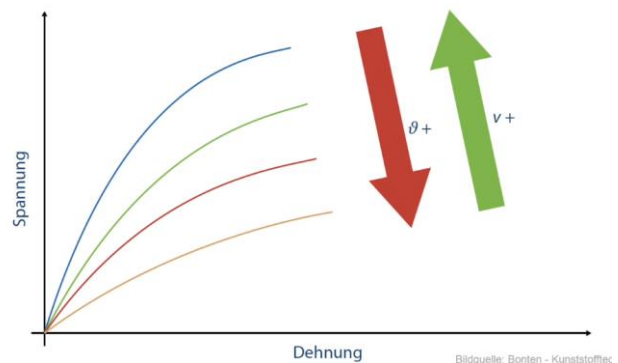
Wie verhält sich die Spannung bei unterschiedlicher Temperatur?



Zeit- und Temperaturabhängigkeit der Spannungs-Dehnungs-Kurve



Zeichne das Zeit-Temperatur-Verschiebungsprinzip



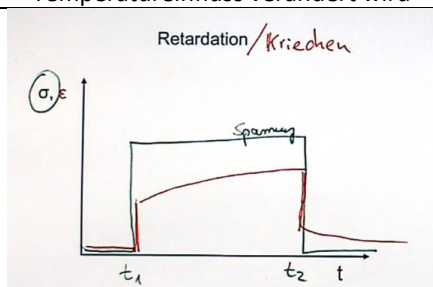
Wie lautet die Zeit-Temperatur-Verschiebungsgleichung (ZTV-Gleichung)?

· stellt einen Zusammenhang zwischen Dehngeschwindigkeit und Temperatur her

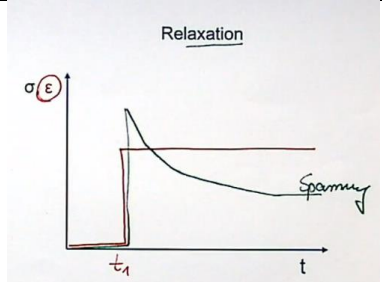
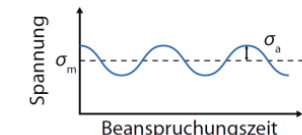
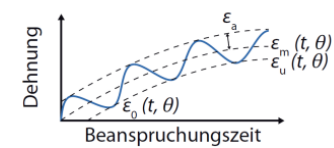
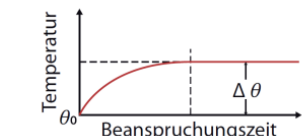
$$\log \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_{ref}} \right) = k \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)$$

- Aktivierungsfaktor k ist werkstoffspezifisch
- Gilt nur, wenn Struktur des Kunststoffes nicht durch Temperatureinfluss verändert wird

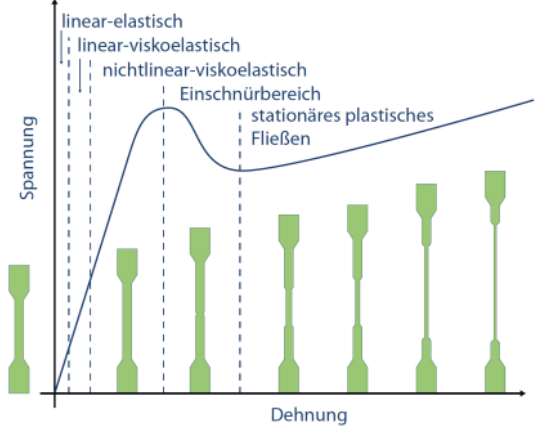
Beschreibe die Retardation.

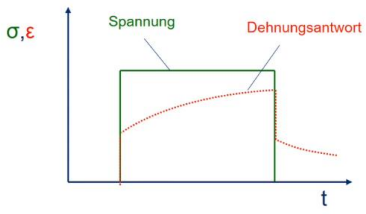
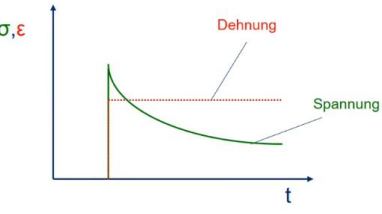
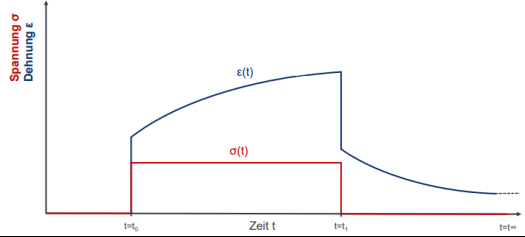
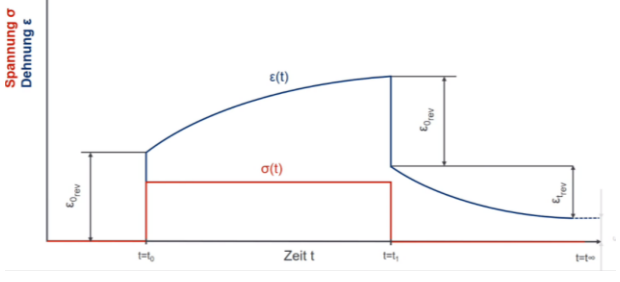
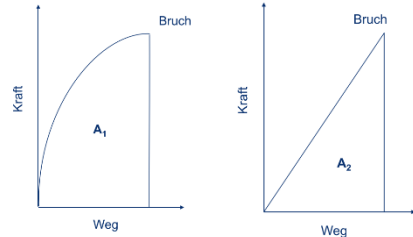


(Bsp: Handtuchhaken fällt mit der Zeit runter)

	(bei Elastomeren und Duromeren vernachlässigbar)
Beschreibe die Relaxation.	 (Bsp: Dübel in der Wand mit zu kleiner Schraube → Schraubenkraft lässt mit der Zeit nach) (bei Elastomeren und Duromeren vernachlässigbar)
Zeichne das Viskoelastische Werkstoffverhalten	
Zeichne die Spannung über die Zeit bei einem Schwingversuch.	
Zeichne die Dehnung über die Zeit bei einem Schwingversuch.	
Zeichne die Temperatur über die Zeit bei einem Schwingversuch.	

LERNSTOPP

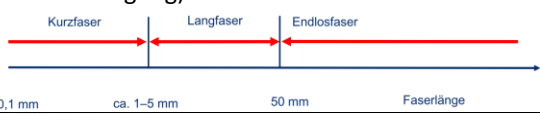
Benennen Sie die fünf verschiedenen Verformungsverhalten von Kunststoffen unter Last.	
Erklären Sie mit Hilfe der Brown'schen Molekularbewegung, warum eine geringere Verformungsgeschwindigkeit und/oder eine	Ketten des Kunststoffs haben mehr Zeit (bzw. höhere Brown'sche Beweglichkeit), um sich durch Umlagerungen

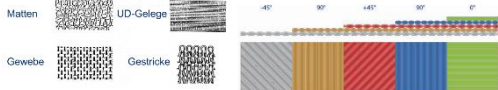
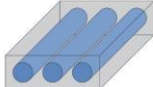
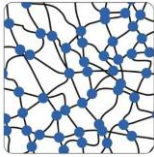
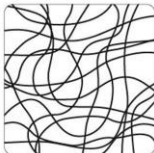
erhöhte Einsatztemperatur die Dehnfähigkeit von Kunststoffen erhöht.	an äußere Belastungen anzupassen → Kunststoff kann sich stärker dehnen, bevor er reißt
Erklären Sie, warum die Zugfestigkeit, welche mit dem Standardzugversuch bestimmt wurde, für die Auslegung eines Automobil-Stoßfängers nicht geeignet ist	Die Eigenschaften von Kunststoffen hängen von der Belastungsgeschwindigkeit ab, welche beim Crash sehr viel höher ist als beim quasi-statischen Zugversuch
Erklären Sie den Unterschied zwischen Retardation und Relaxation. Behelfen Sie sich zweier Skizzen.	Retardation  Relaxation 
Beschriften Sie im nachfolgenden Diagramm alle Anteile elastischer oder viskoelastischer Dehnung der hier beanspruchten Probe.	 
Jede Fläche steht für die aufgenommene Energie bis zum Bruch. Welche Kurve zeigt die größere Zähigkeit?	A_1 zeigt größere Zähigkeit, da $A_1 > A_2$
	schwingende Belastung: Schwingversuch schlagartige Belastung: Kerbschlagbiegeversuch

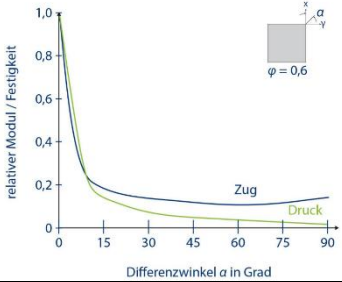
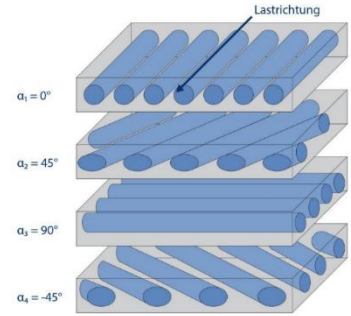
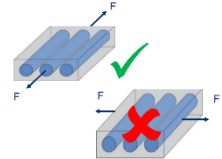
VORLESUNG 3

BEEINFLUSSUNG DER WERKSTOFFEIGENSCHAFTEN DURCH ZUSATZSTOFFE

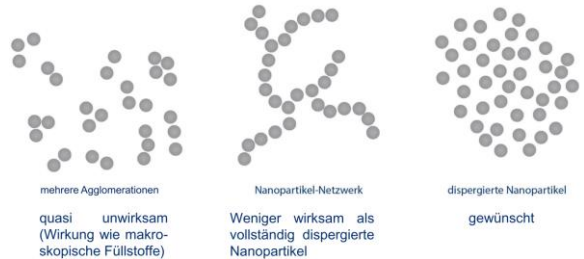
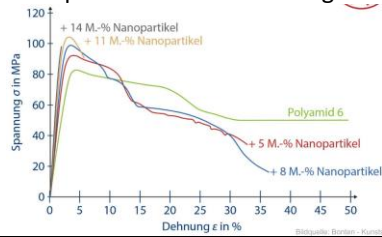
INHALT

Warum Zusatzstoffe?	Polymere sind - so wie die Synthese sie liefert – meist weder direkt in Maschinen verarbeitet- noch verwendbar. Erforderlich ist mindestens ein Schutz gegen Wärme- und Sauerstoffeinwirkung sowie andere Umweltbedingungen, die sogar schon bei der Lagerung auftreten können. Außerdem erfordert die jeweilige Anwendung dieser Materialien eine mehr oder weniger große Anzahl von Zusatzstoffen: - Verstärkungsstoffe (aktive Zusatzstoffe) - Funktions-Zusatzstoffe (hier „Additive“ genannt) - Füllstoffe (inaktive Zusatzstoffe) Durch anwendungsgerechte Zugabe von Zusatzstoffen entsteht erst der Werkstoff Kunststoff.
Wo findet man Faserkunststoffverbunde?	Luftfahrt, Windenergie, Automobilbau (bisher nur Kleinserien, in Zukunft auch Großserien), Freizeit: Bootsrumph, Fahrradrahmen, Segelflieger
Wie werden Fasern eingeteilt?	Anorganisch (Glas, Basalt, Kohlenstoff) oder organisch (Aramid, Pflanzen) Nach Länge: - Kurzfasern: 0,1 - 0,5 mm ($l/d > 10$, geringste Kraftübertragung) - Langfasern: 0,5 - 50 mm ($l/d > 1000$) - Endlosfasern: > 50 mm ($l/d \rightarrow \infty$, höchste Kraftübertragung) 
Wie werden Fasern hergestellt?	DIN 60000: textile Faserstoffe sind textiltechnisch verarbeitbare linienförmige Gebilde.  Einzelne Faser: „Filament“ ($\approx 5\text{--}50\text{ }\mu\text{m}$); Faserbündel: „Roving“ Textilien: Vliese, Matten, Gelege etc.
Was sagt die Feinheit und Anzahl der Filamente über die Festigkeit aus und wo werden sie eingeteilt?	Generell: je feiner eine Faser in einem Bündel gleichen Durchmessers, desto höher die Bündelfestigkeit, da einzelnes Faserversagen weniger Anteil an der Querschnittsfläche hat. (Griffith' Faserparadoxon) Bezeichnung nach Feinheit (Einheit Tex [=] 1 g/1000 m) und nach Anzahl der Filamente: - Standard: 3K bis 12K (= 3000 bis 12000 Filamente pro Roving) - Automobilindustrie: 24K bis 100K („Heavy Tow“, für Serienfertigung) - Raumfahrt: 1K (sehr teuer, da sehr fein)
Was ist ein Faserhalbzeug?	Der Begriff Halbzeug bezeichnet unfertige Bauteile oder Bauteilelemente (in der Metalltechnik z. B. Bleche oder Profile). In der Faserkunststoffverbund-Technologie u.a. - Faser-Rovings (Faserbündel), meist aufgespult - Wirrfasermatten, unidirektionale Gelege, Gewebe, Gestricken - Leicht vernähte Multi-Axial-Gelege (MAG)

	
Was sind Vor- und Nachteile von Naturfasern?	Vorteile - nachhaltige Ressourcennutzung - preiswerter Rohstoff - gute thermische und stoffliche Wiederverwertbarkeit - arbeitsmedizinische Vorteile bei Verarbeitung und Entsorgung - E-Moduln wie Glasfaser möglich Nachteile - schlechte Festigkeit - stark wechselnde Eigenschaften je nach Herkunft und Wachstumsbedingungen - Pilz- oder Schimmelbefall möglich
Unterschiede der mechanischen Kennwerte von Glas-, Kohlenstoff- und Hanffasern	- Hanffaser: so steif wie Glasfaser; aber leichter und weniger fest - Kohlenstofffaser: leichter und steifer, so fest wie Glasfaser, aber geringere Bruchdehnung
Inwiefern sind die mechanischen Eigenschaften von C-Fasern abhängig von der Herstellungstemperatur?	- Es lassen sich entweder Kohlenstofffasern mit hoher Festigkeit (HAT) oder Fasern mit hoher Steifigkeit (HM) produzieren. - Intermediate-Fasern mit ausgewogenen Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften haben schlechtere Kennwerte als HToder HM-Fasern.
Aus welchen Bestandteilen bestehen Faserkunststoffverbunde?	 Faser • Hohe Festigkeit und Steifigkeit in Längsrichtung • richtungsabhängig (anisotrop) • ungeschützt, lose, wie ein Seil nur auf Zug beanspruchbar +  Matrix • Niedrigere Festigkeit und Steifigkeit als Faser • richtungsunabhängig (isotrop) =  Fasermatrixverbund • sehr gute mechanische Eigenschaften, dominiert von Fasern • richtungsabhängig (anisotrop)
Duomere als Matrix (Varianten, Vorteile, Nachteile)	 Varianten - Epoxidharze: größte Verbreitung, beste mechanische Eigenschaften der Duomere - Phenolharze: ältestes verwendetes Duomer (Bakelite®) - Spezialfälle: Bismaleinimidharze, Polyimidharze - ungesättigte Polyester, Vinylester: kostengünstig Vorteil - vor der Vernetzung niedrigviskos, daher exzellente Filamentdurchtränkung - höhere Temperaturbeständigkeit Nachteil - Nicht schweißbar, nur thermisch verwertbar, wegen niedriger Viskosität oft Nacharbeit erforderlich
Thermoplaste als Matrix (Varianten, Vorteile, Nachteile)	 Varianten - Amorphe Thermoplaste als Matrix: PVC, PS, PMMA, PEI, PES, PC - Teilkristalline Thermoplaste als Matrix: PE, PB, PP, PA, PEEK Vorteil

	- Höhere Dehnfähigkeit ggü. Duromeren → höhere Energieaufnahme (Zähigkeit) - geringere Zykluszeiten durch Abkühlen statt Aushärten - Schweißbarkeit - werkstoffliche Recyklierbarkeit Nachteil - geringere Festigkeiten ggü. Duromeren - Kriechverhalten - nicht niedrigviskos genug für Durchtränkung der Faserbündel bis hin zu den Einzelfilamenten
Was bewirkt die Richtungsabhängigkeit der Werkstoffkennwerte?	 Eine Abweichung von 10° der Faser von der Belastungsrichtung führt zu einer Reduktion der Werte auf 20 % der Ausgangswerte.
Was ist die klassische Laminattheorie?	Problem: $E_{ } \gg E_{\perp}$ Lösung: Mehrschichtverbund - Benennung mit eckigen Klammern, ähnlich wie in der Chemie: z.B. $[0,90]_3$ oder $[0,30,-30,60,-60]_5$ - Eine Zahl im Index bedeutet eine Wiederholung. - Ein „S“ im Index steht für „symmetrisch“. Hier ist also eine Symmetrieebene. - Bezugsrichtung ist immer parallel zu 0°. - $[0,45,-45,90]_5$ wird auch als quasiisotrop bezeichnet. 
Schreibe $[0,90]_3$ und $[0,30,-30,60,-60]_5$ aus.	$[0,90]_3 = [0,90, 0,90, 0,90]$ $[0,30,-30,60,-60]_5 = [0,30,-30,60,-60,-60,60,-30,30,0]$
Wie berechnet man die Steifigkeit eines Mehrschichtverbandes (für eine bestimmte Lastrichtung)?	Bekannte Elastizitätsmoduln: $E_{Lage } = \varphi E_{F } + (1 - \varphi) E_M$ (Parallelschaltung) $(E_{Lage\perp})^{-1} = \varphi E_{F\perp}^{-1} + (1 - \varphi) E_M^{-1}$ (Reihenschaltung)  Lage mit Verdrehwinkel: $E_i = E_{Lage } \cos^4(\alpha_i) + E_{Lage\perp} \sin^4(\alpha_i) \text{ (vereinfacht)}$ Gesamtes Laminat: $E_{gesamt } = \sum E_i d_i / d_{gesamt} \text{ (Mischungsregel)}$
Wie berechnet sich der Faservolumengehalt?	$\varphi = \frac{V_{Faser}}{V_{gesamt}}; \text{ typischer Wert 40-65\%}$

Nennen Sie mögliche Fertigungsfehler	Fertigungsfehler  Porosität  Fremdeinschluss  Ondulation  Harznest  Fehlorientierung
Nennen Sie mögliche Schäden im Gebrauch	Schäden im Gebrauch  Faserbruch  Zwischenfaserbruch  Delamination
Beschreiben Sie Delamination	- Delaminationen = Trennung zweier Lagen - Ursachen: übermäßige Stoß- oder Biegebeanspruchung - verdeckt: von außen nicht sichtbar (im Gegensatz zu Beulen in Metallen) - geringer Einfluss auf Zugfestigkeit, aber totaler Verlust der Schubfestigkeit
Was ist Thermografie?	Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung zur Defekterkennung - berührungslos - bis ca. 5 mm Tiefe in CFK - Messdauer ca. 1 bis 5 min - Erkennen von: Delaminationen, Porositäten, Harznestern, Fremdeinschlüssen, Ondulationen
Was ist Shearografie?	Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung zur Defekterkennung - Beleuchtung des Untersuchungsgegenstands mit kohärentem, ausgeweitetem Laserstrahl - Das durch den Laser erkannte „Flecken“-muster auf der Oberfläche des Bauteils verändert sich schon bei kleinsten Verformungen (z.B. durch Erwärmung um wenige Kelvin). - Überlagerung der „Flecken“-bilder von vor und nach der thermischen Erregung
Was ist luftgekoppelter Ultraschall?	Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung zur Defekterkennung - berührungslos - Messdauer ca. 30 min, je nach Größe - Erkennen von: Delaminationen, Fremdeinschlüssen, Zwischenfaserbrüchen, Faserbrüchen, Ondulationen, Harznestern, Porositäten

Was sind Nanofüllstoffe zur Verstärkung?	Füllstoffe mit mindestens einer charakteristischen Dimension im Größenbereich von einem bis ca. 100 Nanometern. Neben Art des Ausgangsmaterials führen insbesondere Größe und Gestalt der Nanostrukturen zu neuartigen (mechanischen, optischen, magnetischen, elektrischen und chemischen) Eigenschaften. Das Ersetzen von makroskopischen Füllstoffen durch Nanopartikel führt zu einer deutlichen Zunahme der Rolle von Oberflächen- und Grenzflächenwechselwirkungen.
Welche Verteilung wird für eine maximale Wirksamkeit von Nanopartikeln angestrebt?	Eine feinverteilte, sog. dispergierte Verteilung der Partikel wird angestrebt (technisch anspruchsvoll).  mehrere Agglomerationen Nanopartikel-Netzwerk dispergierte Nanopartikel quasi unwirksam (Wirkung wie makroskopische Füllstoffe) Weniger wirksam als vollständig dispergierte Nanopartikel gewünscht
Welche Eigenschaften können Nanopartikel (neben den mechanischen) verändern?	- Schichtsilikate: Verbesserung der Flammshutzes und Barriere-Eigenschaften - Kohlenstoff-Nanoröhrchen: Verbesserung der elektrischen und thermischen Eigenschaften - Titandioxid-Partikel: Absorption von UV-Strahlen (z.B. in Sonnencreme) - Silber-Partikel: Antibakterielle und fungizide Wirkung - Siliziumdioxid-Partikel: Erhöhung der Oberflächenhärte
Wie verändert sich die mechanischen Eigenschaften von Kunststoff (hier: PA6) mit Nanopartikeln als Verstärkungsstoffe?  Spannung σ in MPa Dehnung ϵ in % Polyamid 6 + 14 M.-% Nanopartikel + 11 M.-% Nanopartikel + 5 M.-% Nanopartikel + 8 M.-% Nanopartikel	- Steifigkeit erhöht sich - Dehnfähigkeit verringert sich -> 5&8 M.-% Nanopartikel: erhöhen die Steifigkeit und haben immer noch eine gute Dehnfähigkeit -> 11 M.-% Nanopartikel: sehr geringe Dehnfähigkeit -> 14 M.-% Nanopartikel: erhöht nicht mehr die Steifigkeit und hat sehr geringe Dehnfähigkeit
Was ist allen Funktionszusatzstoffen gemein?	Ihre Wirkung hängt von der Löslichkeit und Verteilung im betreffenden Polymer ab.
Flammengeschützte Polyamide (Ausgangssituation, Probleme, Ziel, Lösung)	Ausgangssituation - Kunststoffe sind aufgrund ihrer Zusammensetzung aus Kohlenwasserstoffen grundsätzlich aus brennbar. Um die Brandgefahr zu reduzieren, werden Polymeren im Aufbereitungsprozess Flammenschutzmittel zugesetzt, die die Entzündbarkeit erschweren, selbsterlöschend wirken und die Geschwindigkeit der Flammenausbreitung verringern. Problemstellung/offene Fragen - Grundsätzlich müssen Flammenschutzmittel toxikologisch und ökologisch unbedenklich sein und dürfen im Brandfall keine toxischen Gase freigeben. - Modifikation von Polyamiden (physikalisch) führt zu veränderten Eigenschaften (z. B. Versprödung, Farbe,

	Viskosität), da teilweise sehr hohe Zugabemengen (bis zu 60 M.-%) erforderlich sind. Zielsetzung - Synthese eines flammfesten Polyamides, welches die Flammschutzkomponente chemisch gebunden in der Polymerkette enthält. Lösungsweg - Einbau 1.000.000 von phosphorhaltigen Kettenreglern als Flammschutzkomponente direkt in der Hauptkette - Erhöhung der Molekülmasse durch reaktive Extrusion im Doppelschneckenextruder, wodurch die Verarbeitung mittels herkömmlichen Vearbeitungsverfahren möglich sein soll.
Was sind Fließhilfsmittel?	Viskositätsniedrigende Zusätze senken Druckbedarf der Maschine oder Temperaturbedarf der Schmelze (meist niedermolekulare Bestandteile, welche die Nebenvalenzkräfte in der Schmelze verringern, jedoch Gefahr der Migration). Polymerketten mit Zwischeneinlagerungen von Zusatzstoffen
Was sind Weichmacher?	Weichmacher erhöhen die Dehnbarkeit und verringern die Steifigkeit des festen Werkstoffs. Die Weichmacher lagern sich zwischen den Molekülketten an und verringern die Nebenvalenzkräfte. Dabei wirken sie zugleich oft als Fließhilfsmittel während der Verarbeitung. Äußere Weichmachung (physikalisch gebunden) - chemischer Grundcharakter des Werkstoffes wird nicht verändert - physikalische Mischung mit meist niedermolekularen Stoffen - keine chemische Verbindung, daher Gefahr der Migration und des Weichmacherverlusts Innere Weichmachung (chemisch gebundene Blockcopolymere) - Einpolymerisieren (chem. Reaktion) einer „abstandshaltenden“ Komponente, dadurch Reduktion der Nebenvalenzkräfte und Beeinflussung der Beweglichkeit
Erkläre die Bildung von Polymerblends.	- Mischungen von mindestens zwei Thermoplasten - meist homogene physikalische Mischung durch Aufbereitung mit Doppelschneckenextruder (siehe Vorlesung „Aufbereitung“) - kostengünstige Neuentwicklung maßgeschneiderter Werkstoffe (Beispiele kommerzieller Blends: PC/ABS, PA/ASA) - kostengünstige Kombination der Eigenschaften der Blendpartner in vorteilhafter Weise („Synergie“) - Grenzschicht der beiden Phasen ist besonders wichtig für den Verbund (eventuell müssen Haftvermittler zugesetzt werden)
Erkläre Schlagzähmodifizierer.	Sehr spröden Werkstoffen werden Partikel aus sehr dehnfähigen Werkstoffen zugesetzt. Startende Risse pflanzen sich schnell durch spröde Werkstoffe hindurch, werden aber durch die dehnfähigen Partikel „aufgefangen“. Entsprechend dem

	Mischungsverhältnis verändern sich auch andere Eigenschaften. In der Regel werden diese Partikel in der Aufbereitung mittels Doppelschneckenextruder (siehe Vorlesung „Aufbereitung“) zugemischt und es bildet sich ein heterogenes Polymerblend. Sind Partikel und Matrixpolymer nicht miteinander kompatibel, werden Haftvermittler zugesetzt.
Welche Vorteile bringt das Hinzufügen von Nukleierungsmittel (Keimbildner) für teilkristalline Thermoplaste?	- Keimbildner führen zu vielen kleinen kugelförmigen Kristallüberstrukturen (Sphäroliten). -> erhöhter Kristallinitätsgrad, höhere Bruchdehnung, höhere Zugfestigkeit des Kunststoffes - Die Kristallbildung findet dann bereits bei höheren Temperaturen statt. -> Zykluszeitverkürzung: Kostenersparnis - Es bildet sich ein homogeneres Gefüge -> Verringerung von Schwindung
Was sind Haftvermittler?	Substanzen, die in der Grenzfläche zwischen Stoffen eine enge physikalische und/oder chemische Bindung herstellen. Sie bilden Brücken zwischen den Grenzflächen der zu verbindenden Trägermaterialien. Die Partner bleiben thermoplastisch verarbeitbar.
Was sind die Vorteile wärmeleitender Kunststoffe?	- komplexe Geometrien kostengünstig herstellbar - höhere Lebensdauer der Bauteile - Bornitrid größere elektrische Leistungen einsetzbar - elektrische Isolation bleibt erhalten, wenn gewünscht
Was sind Vor- und Nachteile von Füllstoffen (inaktiven Zusatzstoffe)?	Vorteile: - erhöhen das Volumen und verringern dabei den Preis, - erhöhen den E-Modul (nicht immer erwünscht), - erhöhen die Oberflächenhärte, - erhöhen die Wärmeformbeständigkeit, - verringern Schwindung (da der Füllstoff selbst kaum schwindet). Nachteile: - erhöhen die Dichte, - reduzieren die Dehnfähigkeit und damit auch die Zähigkeit, - erhöhen beim Zerspanen den Werkzeugverschleiß (Kunststoffbauteile werden aber selten zerspannt).

KAHOOT!

Wie können Faserkunststoffverbundwerkstoffe zur Ressourcenschonung (z.B. im Automobilbau) beitragen?	a. Schöne Oberflächen in Carbon-Optik b. Schnelle und günstige Serienfertigung c. Hohe gewichtsspezifische mechanische Eigenschaften d. Hohe Dehnfähigkeit des Werkstoffverbundes (c)
Warum werden in Faserkunststoffverbunden meist Duomere den Thermoplasten bevorzugt?	a. Gute Durchtränkung der Faserbündel/Filamente b. Schweißbarkeit der fertigen Bauteile c. Recyklierbarkeit der Endprodukte d. Hohe Dehnfähigkeit bei geeigneter Wahl der Faser (a)
Welcher der folgenden Begriffe beschreibt einen häufigen verarbeitungsbedingten Fehler bei FKV?	a. Matrixbruch b. Zwischenfaserbruch c. Ondulation d. Faserbruch (c)

Welchen Effekt hat die Zugabe von Titandioxid-Partikeln auf einen Kunststoff?	a. Erhöhter Flammschutz b. Erhöhte Kratzbeständigkeit c. Erhöhte UV-Beständigkeit d. Erhöhte antibakterielle und fungizide Wirkung (c)
Welche Wechselwirkungen werden bei Ersatz von makroskopischen Füllstoffen durch Nanopartikel drastisch verändert?	a. Oberflächen- und Grenzflächenwechselwirkungen b. Elektromagnetische Wechselwirkungen c. Innermolekulare Wechselwirkungen d. Koordinative Wechselwirkungen (a)
Weichmacher...	a. verringern die Dehnbarkeit und erhöhen die Steifigkeit. b. erhöhen die Dehnbarkeit und erhöhen die Steifigkeit. c. erhöhen die Dehnbarkeit und verringern die Steifigkeit. d. verringern die Dehnbarkeit und verringern die Steifigkeit. (c)
Wie kann die Anbindung von Fasern an die Matrix verbessert werden?	a. Durch einen Haftvermittler auf der Faser. b. Die Fasern müssen ganz glatt sein. c. Es muss stets eine andere Matrix verwendet werden. d. Die Anbindung der Fasern an die Matrix kann nicht beeinflusst werden. (a)

LERNSTOPP

Erläutern Sie je zwei Vor- und Nachteile von Naturfasern.	Vorteile - nachhaltige Ressourcennutzung - preiswerter Rohstoff - gute thermische und stoffliche Wiederverwertbarkeit - arbeitsmedizinische Vorteile bei Verarbeitung und Entsorgung - E-Moduln wie Glasfaser möglich Nachteile - schlechte Festigkeit - stark wechselnde Eigenschaften je nach Herkunft und Wachstumsbedingungen - Pilz- oder Schimmelbefall möglich
Was ist Anisotropie? Was bedeutet sie bei FKV für den Konstrukteur?	- Eigenschaften eines Werkstoffs sind richtungsabhängig - Konstrukteur muss Lastpfade kennen und Fasern entsprechend ausrichten
Berechnen Sie die Steifigkeit in Hauptrichtung eines Laminates mit Aufbau [0, 30, -30, 90]s.	Prinzip der Faserverstärkung Beispielrechnung: $[0, 30, -30, 90]_s \Rightarrow 0, 30, -30, 30, -30, 30, 0$ Vorgehensweise: 1. Berechnung der 0°-Lage $E_{11} = p \cdot E_{F11} + (1-p) \cdot E_m = 421,6 \text{ GPa}$ 2. Berechnung der 90°-Lage $E_{22} = \left[\frac{p}{E_{F22}} + \frac{(1-p)}{E_m} \right]^{-1} = 7,3 \text{ GPa}$ 3. Berechnung der ±30°-Lagen $E_{\pm 30} = E_m \cos^4(30^\circ) + E_{F11} \sin^4(30^\circ) = 137,6 \text{ GPa}$ 4. Berechnung des Gesamtverbunds $E_{\text{ges}} = \frac{E_{11} \cdot d_1 + E_{22} \cdot d_2 + E_{\pm 30} \cdot d_3 + E_{\pm 30} \cdot d_4}{d_{\text{ges}}} = \frac{2 \cdot 421,6 \text{ GPa} + 4 \cdot 7,3 \text{ GPa} + 2 \cdot 137,6 \text{ GPa}}{8} = 226,06 \text{ GPa}$ 1 mm Dicke Kohlenstofffaser vs. Stahl - Kohlenstofffaser: $m = \rho \cdot d = 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 8 \cdot 0,125 \text{ mm} = 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ - Stahl: $m = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1 \text{ mm} = 7,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ $E_{\text{Stahl}} = 210 \text{ GPa} \Rightarrow$ da Stahl steifer!

Erklären sie den Begriff Zerstörungsfreie Prüfung. Nennen Sie mindestens zwei Beispiele für Verfahren.

- Verfahren zur Qualitätskontrolle oder zur Suche nach Schäden, ohne das Bauteil zu zerstören. Es kann danach weiter benutzt werden.
- Beispiele: Thermografie, Shearografie, Ultraschall, Röntgen

EINFÜHRUNG IN DIE KUNSTSTOFFAUFBEREITUNG

INHALT

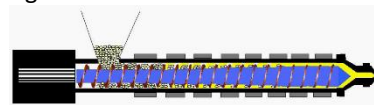
Was versteht man unter dem Begriff „Aufbereitung“?

Unter dem Begriff „Aufbereitung“ fassen wir in der Kunststofftechnik alle Verfahrensschritte zusammen, die erforderlich sind, um aus Polymeren verarbeitbare Kunststoffformmassen mit definierten Eigenschaften herzustellen. Diese Eigenschaften sind meist speziell auf die zu fertigenden Endprodukte abgestimmt.



Was bedeutet „extrudieren“?

[lat.] hinausstoßen, hinausdrücken
Rohstoff wird aufgeschmolzen und kontinuierlich ausgestoßen.



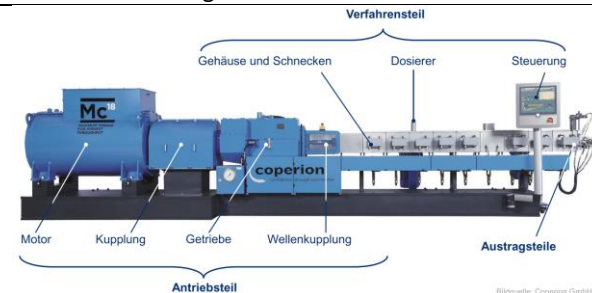
Wozu wird der Doppelschneckenextruder verwendet?

Zum Zumischen in der Werkstoffaufbereitung/ Werkstofftechnik.

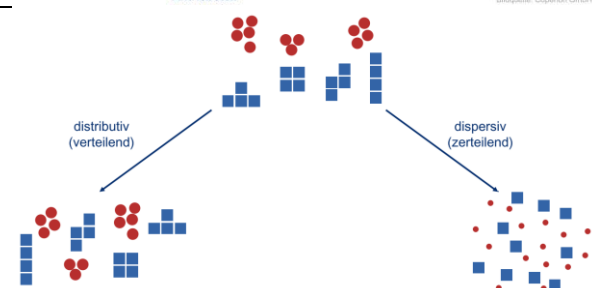
Wo wird der Einschneckenextruder verwendet?

In der Verarbeitungstechnik.

Wie ist der Doppelstreckenextruder aufgebaut?



Was ist distributives und dispersives Mischen?

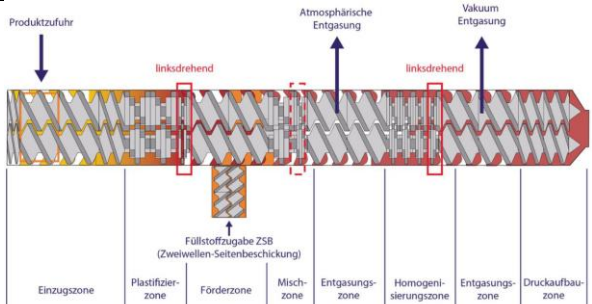


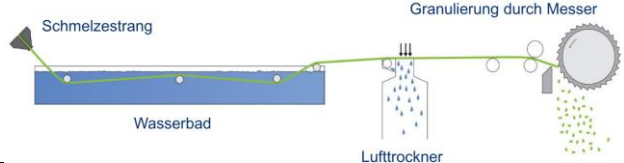
Was ist das Besondere bei den Schnecken eines Doppelschneckenextruders?

Steckbare Schneckenelemente können je nach Bedarf zusammengestellt und auf Zahnstangen zusammengefügt werden.

Förderelemente...

- Fördern der Schnecke aufgegebenen Stoffe in Form von Granulat, Pulver, Mahlgut, Schmelze u.a. im Extruder,
- verdichten und transportieren sie zur ersten Verfahrungszone,

	- bauen Druck am Extruderende auf, um das Produkt durch die Austragsteile zu pressen.
Abstaelemente...	- dienen der Trennung zur intensiv arbeitenden Plastifizierzone - ermöglichen eine teilgefüllte Vakuum-Entgasungszone - erleichtern die Zugabe von Stoffen mittels Seitenbeschickung
Knetelemente...	- werden vor allem zum Plastifizieren von Polymeren eingesetzt. - dienen dem Dispergieren von Füll- und Verstärkungsstoffen in der Polymerschmelze. (- Scheren und Dehnen der Schmelze)
Mischelemente...	- dienen vor allem dem distributivem (verteilenden) Mischen. (Der dispersive, scherintensive Mischanteil ist klein und vernachlässigbar.)
Wie lauten die Verfahrenszonen eines gleichläufigen Doppelschneckenextruders / Compounders?	
Was passiert in der Einzugszone?	Feststoff fördern und verdichten, Luft entfernen
Was passiert in der Plastifizierzone?	Polymer aufschmelzen, Füllstoffe vordispersieren
Was passiert in der Schmelzförderzone?	Schmelze fördern
Was passiert in der distributiven Mischzone?	Verteilen von Feststoffen, Flüssigkeiten in der Schmelze
Was passiert in der dispersiven Mischzone?	Zerteilen von Feststoffpartikeln, Flüssigkeitstropfen
Was passiert in der Entgasungszone?	Entfernen von Wasser, Restmonomeren, Lösemitteln
Was passiert in der Druckaufbauzone?	Druckaufbau zur Überwindung der abstauenden Elemente; Druckgenerator in der Austragszone zum Ausgleichen des vom Werkzeug verbrauchten Drucks
Was ist die spezifische Energie des Doppelschneckenextruders?	Die Spezifische Energie P_{spez} ist der wichtigste verfahrenstechnische Kennwert der Doppelschneckenextrusion. P_{spez} ist werkstoffunabhängig und ist nach $P_{spez} = \frac{P_{Antrieb}}{\dot{m}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_d(n)}{\dot{m}} \quad [\text{kWh/kg}]$ alleine abhängig von den Prozessparametern Drehmoment M_d, Drehzahl n der Schneckenwellen sowie Massendurchsatz $\dot{m}$. $\eta = \text{konst.}$ $\omega = \text{konst.}$   Bei konstantem Durchsatz vergrößert sich mit steigender Drehzahl auch das Drehmoment, weshalb ein nicht-linearer Zusammenhang entsteht.
Was sind weitere Kennwerte des Doppelschneckenextruders?	Mittlere Verweilzeit: - beeinflusst die Eigenschaften des Werkstoffs (evtl. Alterung), wenn zu groß - entscheidende Einflussgröße bei sog. „reaktivem“ Compoundieren (dabei läuft parallel zum Mischen eine chemische Reaktion statt, z. B. die Kopplung von Haftvermittlern zwischen zwei geblendeten Polymeren.) (2. Punkt nicht unbedingt merken) Weitere wichtige Parameter: - Schneckenkonfiguration (siehe Folien weiter oben) - Temperaturprofil - L/D-Verhältnis (Verhältnis der Schneckenlänge zu ihrem Durchmesser)

Was sind Dosiersysteme (Zusatzaggregate)?	Für die Aufbereitung von Kunststoffen müssen mehrere Rezepturkomponenten (Granulate, Pulver, Fasern etc.) in definierten Mengen in den Doppelschneckenextruder eingeführt werden. Es werden zwei Arten von Dosiersystemen unterschieden: volumetrische Dosiersysteme - Dosieren eines gewissen Volumens pro Zeiteinheit - Kostengünstiger gravimetrische Dosiersysteme - Dosieren einer definierten Masse pro Zeiteinheit - Teurer, aber genauer
Was sind Schmelzefilter (Zusatzaggregate)?	- Verunreinigungen in der Kunststoffschmelze werden abgetrennt (Katalysator-Reste, metallische Verschleißrückstände oder Kontaminationen bei Recyclingware usw.). - Verbesserung der Produktqualität, insbesondere die Viskositätskonstanz (z. B. ist u. U. eine nur noch verringerte Dickentoleranz bei der Herstellung von Folien und Filamenten erforderlich.)
Was sind Entgasungsanlagen (Zusatzaggregate)?	Aufgaben der Entgasung von Polymerschmelzen - Restentgasen von Monomeren, Lösungsmitteln und Feuchtigkeit (meist flüchtige Bestandteile < 1 M.-%) - Hierdurch Verbesserung der Produktqualität wie Geruchsverbesserung, Verbesserung der hygienischen, optischen und mancher mechanischen Eigenschaften sowie porenfreie Granulate. - Zusätzlich bei der sog. Reaktiven Extrusion (seltener): Entgasen von Reaktionsprodukten (Reaktionsprodukte werden aus der Polymerschmelze abgezogen, z. B. das abgespaltete Wasser bei einer Polykondensationsreaktion von PA66 auf der Doppelschnecke. Andernfalls würde die Reaktion stoppen.)
Was sind Granulatoren (Zusatzaggregate)?	Aus der aufbereiteten Kunststoffschmelze sollen meist Granulate (engl. Pellets) für die weitere Verarbeitung (siehe spätere Vorlesungen) hergestellt werden. Ein übliches Verfahren ist die sog. „Kaltgranulierung“. Hierbei werden die Schmelzestränge unmittelbar beim Austritt aus einer Lochplatte des Doppelschneckenextruders zuerst durch Luft oder Wasser abgekühlt und danach durch einen Granulator mit rotierendem Messer abgetrennt.  Das Diagramm zeigt den Prozess der Kaltgranulierung. Ein grüner Schmelzestrang tritt von links in das System ein. Er führt über ein Wasserbad, um abgekühlt zu werden. Danach wird er durch Luft geleitet. Schließlich wird er durch einen Granulator mit einem rotierenden Messer in kleine Granulate zerlegt. Diese Granulate fallen in einen Lufttrockner.

KAHOOT!

1. Knetelemente dienen der ...	a. distributiven Mischung. b. dispersiven Mischung. c. verbesserten Zugabe von Füllstoffen. d. Kühlung des Extruders. (b)
--------------------------------	---

Der spezifische mechanische Energieeintrag eines Doppelschneckenextruders ...	a. nimmt mit steigendem Drehmoment M_d ab. b. ist unabhängig vom Drehmoment M_d . c. nimmt mit der Schneckenwellendrehzahl n ab. d. nimmt mit der Schneckenwellendrehzahl n zu. (d)
Wozu wird ein Schmelzefilter eingesetzt?	a. zur Verringerung des Werkzeugwiderstands b. zur Verbesserung der Schmelzequalität c. zur Entgasung der Schmelze d. um Schmelze abzutrennen und zu entfernen (b)

LERNSTOPP

Wofür werden Extruder mit Doppelschnecke eingesetzt?	Aufbereitung: - Mischen/Blenden - Additive dispergieren - Füllen - Verstärken - Entgasen - ...
Nennen Sie die wichtigsten Teile eines Doppelschneckenextruders und erklären Sie deren Bedeutung.	- Machinenteil/Antriebsteil: enthält Antrieb und Getriebe des Doppelschneckenextruders - Verfahrensteil: Hier findet die Aufbereitung des Materials statt. - Austragsteil: Austragung des aufbereiteten Kunststoffes durch ein entsprechendes Werkzeug
Nennen Sie drei verschiedene Schneckenelemente eines Compounds und ihre jeweilige Funktion.	- Abstauelement: dient zur Trennung zwischen intensiv arbeitender Plastifizierungszone; für eine teilgefüllte Vakuum-Entgasungszone; für die Zugabe von Füllstoffen - Knetelement: dient zum Plastifizieren von Polymeren und dem Dispergieren von füll- und Verstärkungstoffen bei Mischprozessen - Mischelement: distributives Mischen, dispersiver Mischanteil wird vernachlässigbar, Mischelemente sind nur teilweise oder gar nicht selbstreinigend
Nennen Sie drei Verfahrenszonen eines Compounds und erläutern Sie, was dort geschieht.	- Einzugszone: Feststoff fördern und verdichten, Luft entfernen - Plastifizierungszone: Polymer aufschmelzen, Füllstoffe vordispergieren - Entgasungszone: Entfernen von Wasser, Restmonomeren, Lösemitteln
Nennen Sie mindestens zwei Zusatzaggregate, die eine Aufbereitungsanlage vervollständigen.	Dosiersysteme, Granulator, Entgasungsanlage, Schmelzfilter

VORLESUNG 4

KURZDARSTELLUNG WICHTIGER KUNSTSTOFFE

INHALT

In welche drei Gruppen ist die Werkstoffpyramide aufgeteilt? Und in welche Richtung steigen Wärmeform	
Was ist die größte Gruppe unter den Kunststoffen?	Thermoplaste mit 95% Elastomere & Duromere: 5% (davon mehr Elasto. als Duro.; schlecht recyclebar)
Wie ist die Kunststoffnachfrage in Europa unterteilt nach Branche?	Gesamt-Nachfrage in Europa: 50,7 Mio. t
(PS)	Polystyrol Einwegbesteck, Geodreieck, Einwegbecher, Joghurtbecher, CD-Hülle
(ABS)	Acrylnitril-Butadien-Styrol (Schlagzähe Werkstoffe) Spielzeug, Lampe, Küchengerät, Schutzhelm, Computergehäuse
(PE-HD)	Polyethylen (hoher Dichte) Kanister, Transportbehälter, Mülltüten, Tragetasche, Rohre
(PP)	Polypropylen Rohre, Transportkoffer, Verpackungen, Stühle
(PVC)	Polyvinylchlorid Rohre, Euro-Stecker, Fenster-Profile, Bedachung
(PA6)	Polyamid 6 Zahnräder, Luftfiltergehäuse, Lüfterrad, Schwerlasträder
(PA66)	Polyamid 6.6 Zahnräder, Luftfiltergehäuse, Lüfterrad, Schwerlasträder
(PBT)	Polybutylenterephthalat Gehäuse (Elektronik), Hochleistungslüfter, Gletlagerbuchse
(PET)	Polyethylenterephthalat Verpackungsbehälter, Getränkeflaschen, (Bildschirm-)Schutzfolien
(PC)	Polycarbonat Compact Disc, Stegplatten, Scheinwerferglas, Schutzbrille
PC/ABS-Blend	Polycarbonat/ Acrylnitril-Butadien-Styrol-Blend Haushaltsgerätegehäuse, Mobiltelefongehäuse, Gehäuse Medizintechnik
(PMMA)	Polymethylmethacrylat Fahrzeugrückleuchte, Bedachung Olympiastadion München, Transparente Scheiben, Vase
(POM)	Polyoxymethylen

	Kugellagerkäfig, Zahnrad, Schnallen und Verschlüsse, Gleitlagerbuchse
(PTFE)	Polytetrafluorethylen (umgangssprachlich Teflon) Pfannenbeschichtung, Gewebeimprägnierung, Radialwellendichtringe, Schläuche
(PEEK)	Polyetheretherketon Zahnersatz, Zahnräder, Schrauben und Muttern, Rohre für Luftfahrtindustrie
(PES)	Polyethersulfon Spulenkörper, Dialysator (künstliche Niere), Babytrinkflaschen
(EP)	Epoxidharz Transistoren, Leuchtdioden, Widerstände, Bodenbeläge

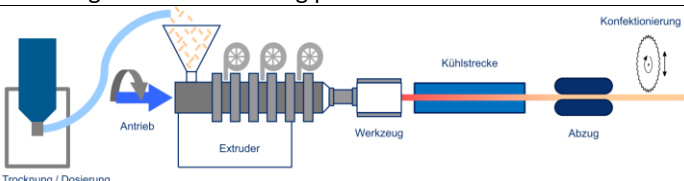
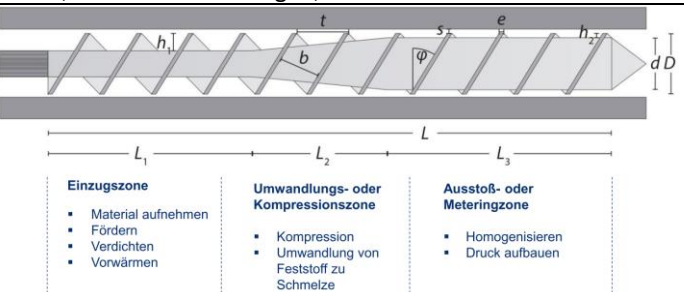
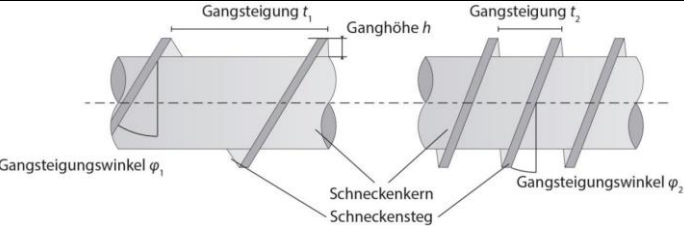
KUNSTSTOFFVERARBEITUNGSTECHNIK

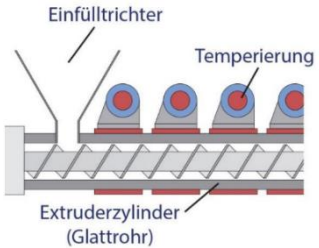
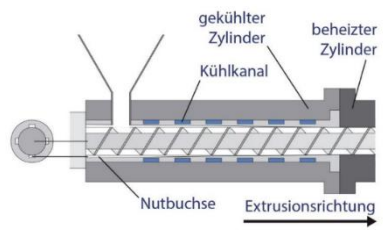
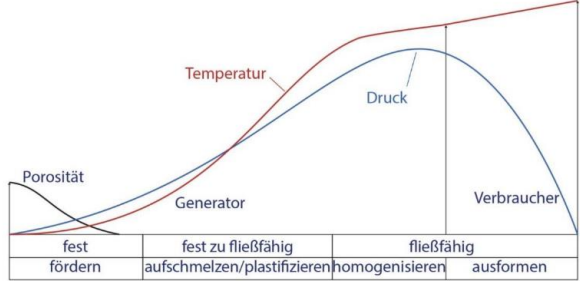
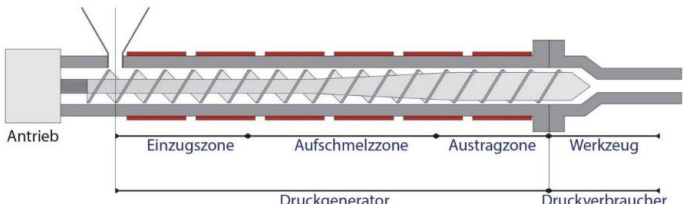
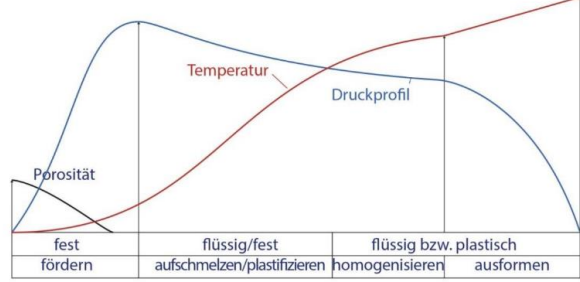
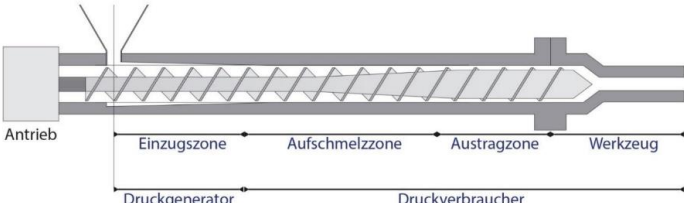
INHALT

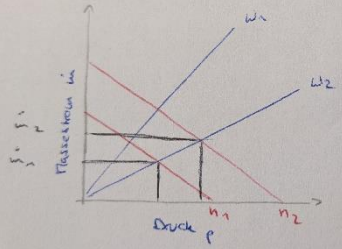
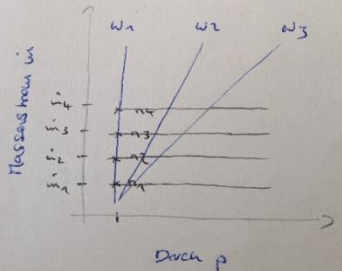
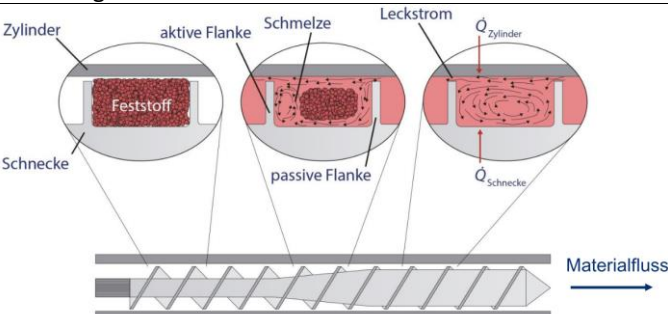
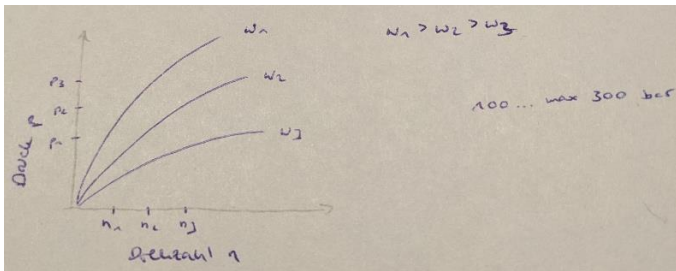
Was versteht man unter dem Begriff „Verarbeitung“?	Unter dem Begriff „Verarbeitung“ fassen wir in der Kunststofftechnik alle Verfahrensschritte zusammen, die erforderlich sind, um Kunststoffformmassen zu Kunststoffbauteilen mit definierten Formen und Eigenschaften zu verarbeiten. Synthese Aufbereitung Verarbeitung Rohstoff Material Werkstoff Werkstück Monomere Polymere Kunststoffe Kunststoffbauteile Synthese Polymerisation Polykondensation Polyaddition auch: Bio-Synthese Aufbereitung Mischen (Blenden) Additive dispergieren Füllen Verstärken Entgasen Filtern Verarbeitung Spritzgießen Extrusion Blasformen Thermoformen Pressen Schäumen																								
Was sind die sechs Hauptgruppen der Fertigungstechnik?	Bei der Herstellung von Kunststoffbauteilen nutzen wir in der Kunststofftechnik allerdings nicht den Begriff Fertigungstechnik. Der Begriff Verarbeitungstechnik beschreibt eher den Charakter eines verfahrenstechnischen Prozesses, der zur Transformation von Kunststoffgranulat zum fertigen Bauteil erforderlich ist. <table><tr><td>Schaffen der Form</td><td colspan="4">Ändern der Form</td><td>Ändern der Stoffeigenschaften</td></tr><tr><td>Zusammenhalt schaffen</td><td>Zusammenhalt beibehalten</td><td>Zusammenhalt vermindern</td><td colspan="2">Zusammenhalt vermehren</td><td></td></tr><tr><td>Hauptgruppe 1</td><td>Hauptgruppe 2</td><td>Hauptgruppe 3</td><td>Hauptgruppe 4</td><td>Hauptgruppe 5</td><td>Hauptgruppe 6</td></tr><tr><td>Urformen</td><td>Umformen</td><td>Trennen</td><td>Fügen</td><td>Beschichten</td><td>Stoffeigenschaft ändern</td></tr></table>	Schaffen der Form	Ändern der Form				Ändern der Stoffeigenschaften	Zusammenhalt schaffen	Zusammenhalt beibehalten	Zusammenhalt vermindern	Zusammenhalt vermehren			Hauptgruppe 1	Hauptgruppe 2	Hauptgruppe 3	Hauptgruppe 4	Hauptgruppe 5	Hauptgruppe 6	Urformen	Umformen	Trennen	Fügen	Beschichten	Stoffeigenschaft ändern
Schaffen der Form	Ändern der Form				Ändern der Stoffeigenschaften																				
Zusammenhalt schaffen	Zusammenhalt beibehalten	Zusammenhalt vermindern	Zusammenhalt vermehren																						
Hauptgruppe 1	Hauptgruppe 2	Hauptgruppe 3	Hauptgruppe 4	Hauptgruppe 5	Hauptgruppe 6																				
Urformen	Umformen	Trennen	Fügen	Beschichten	Stoffeigenschaft ändern																				
Was wird für den Urformprozess benötigt?	Die Urformprozesse benötigen in der Großserie immer ein Werkzeug zur Formgebung. Diese Werkzeuge sind zusammen mit den Kunststoffverarbeitungsmaschinen entscheidende Fertigungsmittel bei der Herstellung von Kunststoff-Serienteilen.																								
Wieso lohnen sich Kunststoffverarbeitungsprozesse meist nur, wenn viele Produkte hergestellt werden?	Hohe Drücke und Temperaturen bei der Schmelzverarbeitung erfordern spezielle Werkzeugstähle und Zuhaltemechanismen. Die Werkzeugstähle und die hohe Präzision machen die Werkzeuge sehr robust, aber auch recht teuer.																								

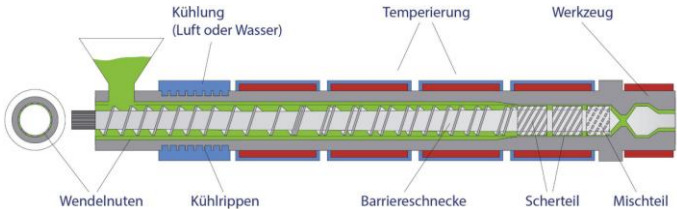
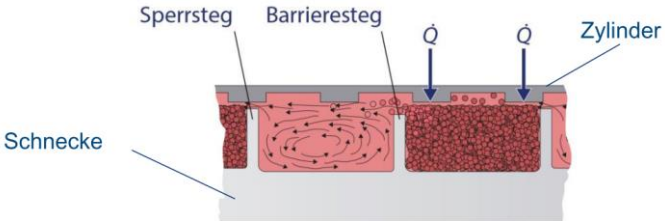
EINFÜHRUNG IN DIE EXTRUSION

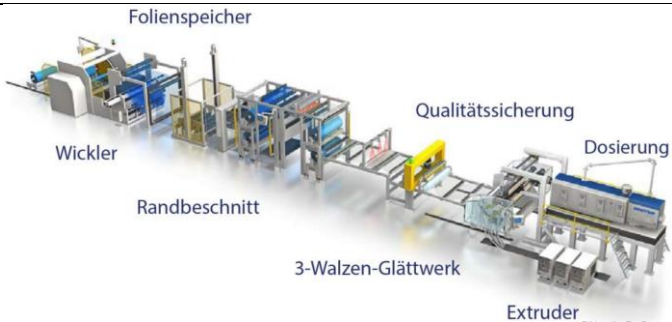
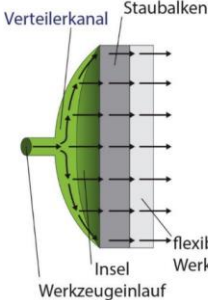
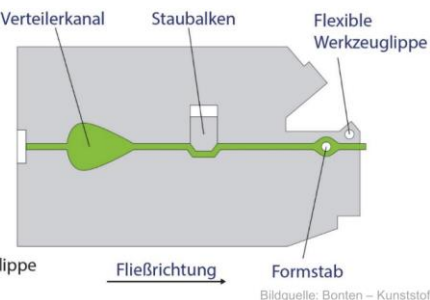
INHALT

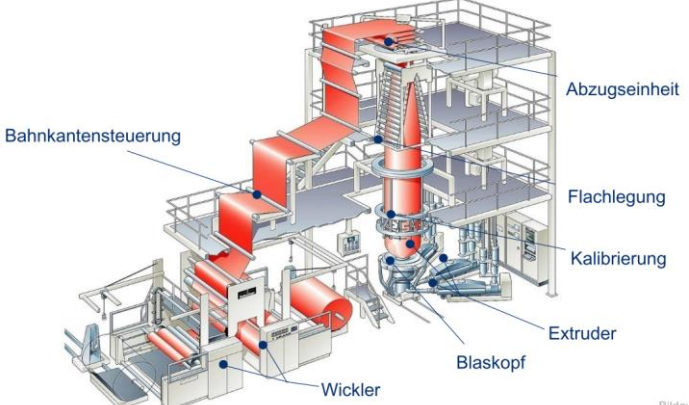
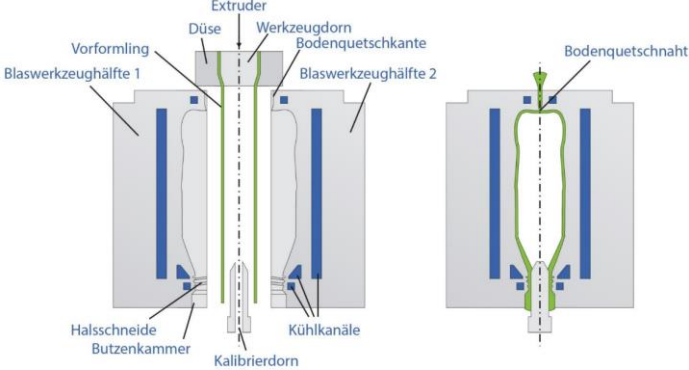
Was ist ein Einschneckenextruder?	Der Extruder in der Kunststoffverarbeitung ist eine kontinuierlich arbeitende Fördermaschine, die unter Einfluss von Wärme und Druck Kunststoffgranulat aufschmilzt, es durch ein formgebendes Werkzeug presst und daraus ein Profil formt.
Wie ist eine Extrusionslinie aufgebaut?	
Was sind die Aufgaben des Extruders?	Fördern, Verdichten, Aufschmelzen, Homogenisieren, Ausstoßen
Was ist die Aufgabe des Werkzeugs?	Formgebung
Was ist die Aufgabe der Kühlstrecke?	Kalibrierung und Kühlung des geformten Kunststoffes
Was sind weitere Peripherieaufgaben in der Extrusionslinie?	trocknen, abziehen, konfektionieren / auf Maß bringen
Nenne extrudierte Produkte.	Rohre, Profile, Schläuche, Coextrudate, Platten und Stegplatten, Folien, Kabelummantelungen, Netze
Wie ist eine konventionelle Dreizonenschnecke aufgebaut?	 D = Schneckendurchmesser; d = Kerndurchmesser; h = Ganghöhe; e = Stegbreite; s = Schneckenspiel; t = Gangsteigung; φ = Gangsteigungswinkel; b = Gangbreite; L = Länge
Was ist ein charakteristisches Unterscheidungsmerkmal eines Extruders?	Verhältnis von Länge L zu Durchmesser D eines Extruders ist ein charakteristisches Unterscheidungsmerkmal. Beispiel: 90-25D oder 90/25D Bedeutet: Schneckendurchmesser $D = 90$ mm, Schneckenlänge $L = 25 \times 90 = 2250$ mm
Welchen Einfluss haben Gangtiefe und Gangsteigung?	 - Je größer die Ganghöhe h, desto größerer Volumenstrom kann gefördert werden. - Je größer der Gangsteigungswinkel φ, desto größer ist die Gangsteigung t. - Je größer φ und t, desto größer kann der geförderte Volumenstrom/Massenstrom, aber desto kleiner der aufbaubare Druck auf Granulat und Schmelze sein.
Welche beiden Arten von Einzugszone gibt es?	- Glattrohr (konventionell) - Nutbuchsentruder

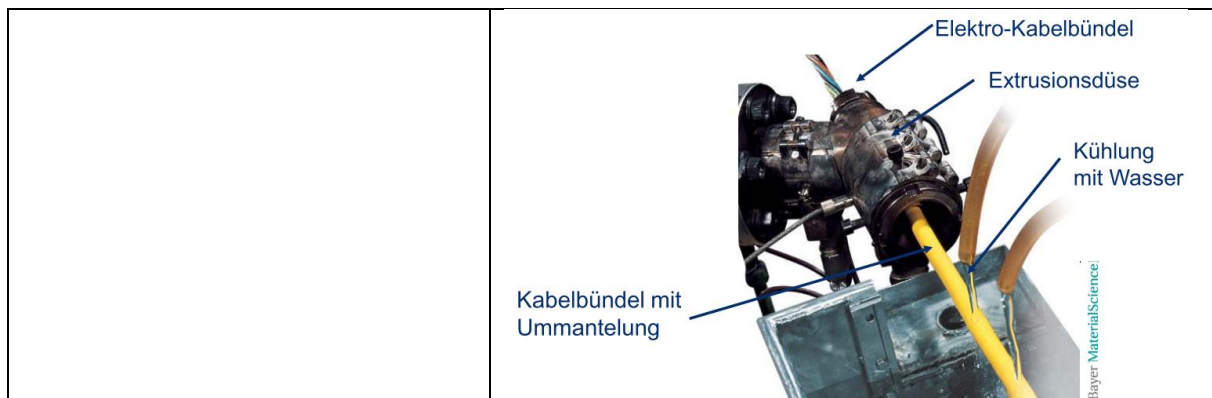
Wie ist das Glattrohr aufgebaut?	- Glatte Zylinder im Bereich der Einzugszone (kostengünstiger) - Üblicherweise Drei-Zonen-Schnecke - Ausstoßmenge ist vom Werkzeugwiderstand umgekehrt proportional abhängig 
Wie ist der Nutbuchsentruder aufgebaut?	- Axial- oder Wendelnuten in der Einzugszone - Nuten verhindern die Drehbewegung der Granulatkörner mit der Schnecke. - Das Material wird zwangsgefördert. - Ausstoßmenge ist vom Werkzeugwiderstand unabhängig 
Wie wirkt sich ein Glattrohrextruder auf Druck und Durchsatz aus?	  - Kontinuierlicher Druckaufbau über gesamte Schneckenlänge - Mischwirkung mittels Gegendruck am Werkzeug steuerbar - Durchsatz ist gegendruckabhängig, verringert sich also mit höherem Werkzeugwiderstand.
Wie wirkt sich ein Glattrohrextruder auf Druck und Durchsatz aus?	  - Zwangsförderung - Druckaufbau mittels Feststoffförderung im Einzug - Befindet sich Schmelze in den Nuten, funktioniert das Förderprinzip nicht mehr.

	- Weitere Extruderzonen sowie Werkzeuge wirken als Druckverbraucher - Durchsatz ist gegen druckunabhängig, verringert sich nicht bei höherem Werkzeugwiderstand.
Wie ist der Zusammenhang von Massestrom zu Druck beim Glattrohretruder?	 n: Schneckendrehzahl w: Werkzeugwiderstand ($w_1 \rightarrow w_n$ Komplexität nimmt zu) p: Werkzeugdruck m: Massestrom - Bei konstanter Schneckendrehzahl und steigendem Werkzeugwiderstand sinkt der Massedurchsatz. - Mit Drehzahl den Massenstrom einstellen -> Dabei verändert sich der Druck
Wie ist der Zusammenhang von Massestrom zu Druck beim Nutbuchsentruder?	 n: Schneckendrehzahl w: Werkzeugwiderstand ($w_1 \rightarrow w_n$ Komplexität nimmt zu) p: Werkzeugdruck m: Massestrom - Bei konstanter Schneckendrehzahl und steigendem Werkzeugwiderstand bleibt der Massedurchsatz konstant. - Ein verringerter Massedurchsatz kann erst bei sehr hohen Werkzeugwiderständen beobachtet werden.
Wie sieht der Aufschmelzvorgang in der Umwandlungszone aus?	
Homogenisieren bedeutet:	- Zerteilen von Agglomeraten, Aufschmelzen von restlichen Granulatkörnern - Gleichmäßiges Verteilen von Stoffkomponenten, wie z. B. Pigmenten, Additiven - Vereinheitlichen der Plastifikattemperatur (Schmelzetemperatur)
Der bis zum Ende des Extruderzylinders aufgebaute Druck hängt ab:	- vom Werkzeugwiderstand w, - vom Fließwiderstand der Schmelze (Viskosität), - von der Schneckendrehzahl n. 

	Der Druck wächst bei strukturviskosen Materialien unterproportional mit der Durchsatzleistung an. Praxisübliche Werte liegen zwischen 100 und 300 bar.
Was machen Mischteile?	Mischteile verbessern die Homogenisierung (ersetzen aber nicht den Doppelschneckenextruder!)
Welcher ist der effizienteste Extruder der Welt?	Hochleistungsextruder Helibar®
Was sind die Merkmale des Helibars?	- durchgehend genuteter Zylinder (Axial- oder Wendelnuten) - Barrierschnecke mit Scher- und Mischelementen 
Wie unterscheidet sich der Helibar von den anderen Extrudern?	- Schmelze und Festkörper (Granulat) werden getrennt durch Nuten - Festkörperkanal wird immer kleiner, Schmelzkanal wird immer größer - Durch Trennung kann Wärmeleitung sehr gut direkt auf Granulat geleitet werden, ohne dass es von der Schmelze weg geleitet wird - Etwas Granulat gelangt in den Schmelzbereich, dadurch wird dieser Bereich leicht gekühlt, was wünschenswert ist -> Höhere Durchsatzleistung bei gleichen Charakteristika (50%) -> Für gleichen Durchsatz/Massenstrom reicht beim Helibar eine Extrudergröße kleiner, dadurch 30% energiesparender 
Was sind die verfahrenstechnischen Verbesserungen des Helibars?	- hohe Aufschmelzleistung mit entsprechend hohem spezifischen Massedurchsatz - hohes Druckaufbauvermögen (bzw. hohe Pumpleistung) - geringer mechanischer Verschleiß - geringe Kühlleistung in der Einzugszone erforderlich (z. B. Luftkühlung reicht aus) - gute Schmelzehomogenität - geringe thermische Schädigung des Kunststoffs
Was sind Verbesserungen des Helibars in der Wirtschaftlichkeit?	- niedrige Herstellkosten - sehr kompakte Baugröße - Erhöhung der Durchsatzleistung um bis zu 50 %
Wo wird ein Stegdornhalter benötigt?	Bei der Rohr- und Profilextrusion
Was sind die Unterschiede zwischen einem Einfachstegdornhalter und einem Doppelstegdornhalter?	Einfachstegdornhalter: - Fließnähte evtl. deutlicher - evtl. schlechtere mechanische Eigenschaften Doppelstegdornhalter: - die Stege sind versetzt - Fließnähte weniger sichtbar - Rohr bessere mechanische Eigenschaften - teurer
Von was wird der Werkzeugaustritt beeinflusst?	Der Werkzeugaustritt hat in der Regel nicht exakt dieselbe Form und dieselben Maße wie das spätere Produkt.

	Form und Maße des Extrudatstrangs werden nach dem Austritt aus dem Werkzeug von mehreren Faktoren beeinflusst: - Abzugskraft - Relaxation bereits im Werkzeug - Abkühlgeschwindigkeit - Strangaufweitung (Moleküle „erinnern“ sich nach Druckabfall an die Konformation vor dem Werkzeug und nehmen wieder mehr Volumen ein.)
Was ist die Kalibrierung?	Gekühltes Werkzeug, was die Form weiter aufrecht erhält.
Wie verhält sich das Extrudat bei verschiedenen Abzugsgeschwindigkeiten?	Verdünnung der Wanddicke durch höhere Abzugsgeschwindigkeit (als Extrudiergeschwindigkeit).
Was passiert bei ungleichmäßiger Abkühlung?	Lunkerbildung: - Makromoleküle teilkristalliner Kunststoffe sind geordneter und lagern sich dichter aneinander an → größere Schwindung - An Dickstellen und Materialanhäufungen können im Inneren Lunker entstehen, wenn die Außenhaut zu schnell abkühlt und erstarrt. Einfallstellen und Verzug: - Wenn das Extrudat innenliegende Stege, Rippen oder Vorsprünge hat, können Verformungen sowie Einfallstellen als Folge der ungleichmäßigen Abkühlung eintreten. - Ungleichmäßige Wanddicken können zu sogenannten Verzug führen.
Aus welchen Bestandteilen besteht die Produktionsstraße einer Platten- und Flachfolienextrusion?	
Welches Extrusionswerkzeug wird für Platten- und Flachfolienextrusion benötigt?	Kleiderbügelwerkzeug/ Breitschlitzwerkzeug Draufsicht  Seitenansicht  Bildquelle: Bonten – Kunststoff
Welche Schichtdicke lässt sich mit der Platten- und Flachfolienextrusion herstellen?	> 10 µm Schichtdicke (Frischhaltefolie kann damit nicht hergestellt werden)

Aus welchen Bestandteilen besteht die Produktionsanlage einer Blasfolien- und Schlauchextrusion?	
Wie funktioniert eine Produktionsanlage für Blasfolien- und Schlauchextrusion?	Schmelze kommt kreisringförmig wie ein Rohr aus dem Blaskopf heraus und wird zu einem Schlauch aufgeblasen und oben abgezogen -> Radiale und biaxiale Streckung. Schlauch wird dann zusammengelegt (daraus entstehen Beutel).
Welche Schichtdicke lässt sich mit der Blasfolien- und Schlauchextrusion herstellen?	In der Blasfolienextrusion lassen sich Folien von 0,01 (!) bis ca. 1 mm Dicke herstellen. (z.B. Frischhaltefolie)
Was ist Extrusions-Blasformen?	- Verfahren zur Herstellung von Hohlkörpern und behälterartigen Produkten - Dies umfasst Verpackungsartikel wie Flaschen, Kanister oder Fässer, aber auch technische Teile wie Lüftungskanäle, Surfbretter, Kraftstoffbehälter oder Kofferhalbschalen.
Wie sieht das Blasformwerkzeug aus und was ist ein charakteristisches Merkmal bei diesem Verfahren?	 (Kostengünstiges Werkzeug z.B. aus Aluminium, für kleinere Chargen) Merkmal: Quetschnähte
Was ist Co-Extrusion?	Kombination von verschiedenen Werkstoffeigenschaften z.B. bis zu 7 Schichten = 7 Co-Extrudate bei der Blasfolienextrusion mit verschiedenen Eigenschaften
Nenne zwei Beispiele für Co-Extrusion.	- Teure Funktionsschicht (z. B. Barrierschicht) und kostengünstige, tragende Restwandung - Kratzfeste Oberfläche, weiche Restwandung
Was ist eine Spezialform der Co-Extrusion?	Ummantelung von Elektroleitungen: Werkzeug mit kreisförmigem Austritt - Die Pinole wird mit Schmelze umströmt. - Durch die Pinole laufen die zu ummantelnden Halbzeuge (Kupferdraht, Kabelbündel etc.).



KAHOOT!

Was ist kein charakteristischer Geometriewert einer Schnecke?	a. Schneckenspiel b. Kerndurchmesser c. Windungsanzahl d. Stegbreite (c)
Von was hängt der bis zum Ende aufgebaute Druck im Extruderzylinder nicht ab?	a. Werkzeugwiderstand b. Fließwiderstand der Schmelze c. Trichterkapazität d. Schneckendrehzahl (c)
Welche Aussage über die maschinentechnischen Besonderheiten des Helibar®-Extruders ist falsch?	a. Er hat eine Umwandlungszone ohne Nuten. b. Er hat eine Einzugszone mit Axial- oder Wendelnuten. c. Er hat eine Barrierschnecke. d. Er hat eine Plastifizierungszone mit Axial- oder Wendelnuten. (a)
Form und Maße des Extrudatstrangs werden nach dem Austritt aus dem Werkzeug von welchem Faktor nicht beeinflusst?	a. Strangaufweitung b. Aufschmelzrate c. Abkühlgeschwindigkeit d. Abzugsgeschwindigkeit (b)
Welcher Bestandteil gehört nicht zur Produktionsanlage für 3-Schicht-Blasfolien?	a. Kalibrierung b. Flachlegung c. Sensor zur Orientierungsmessung d. Wickler (c)

LERNSTOPP

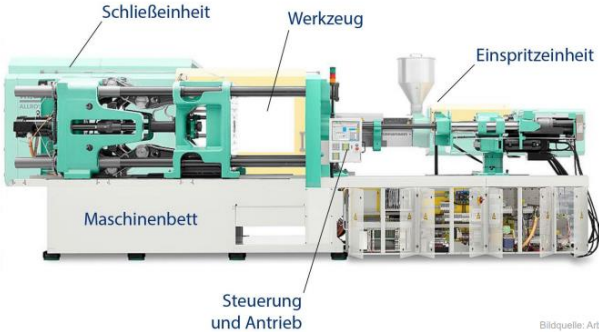
Mit welcher Art von Einzugszone (Glattrohr oder Nutbuchse) erhält man bei gleicher Geometrie und gleicher Drehzahl einen höheren Durchsatz? Warum?	Mit dem Nutbuchsenextruder wegen der Zwangsförderung
Wie heißen die drei Funktionszonen einer konventionellen Drei-Zonen-Schnecke und welche Aufgaben haben sie?	Einzugszone: - Material aufnehmen - fördern - verdichten - vorwärmen Umwandlungszone: - Kompression - Umwandlung von Feststoff zu Schmelze Ausstoßzone - Homogenisieren

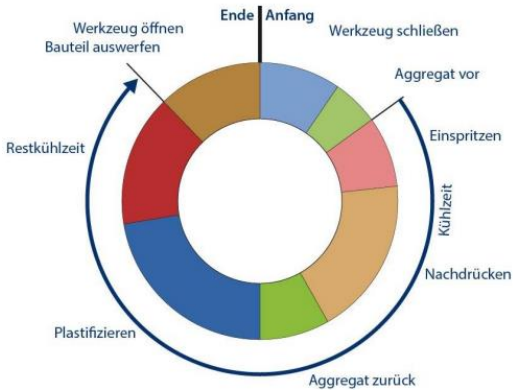
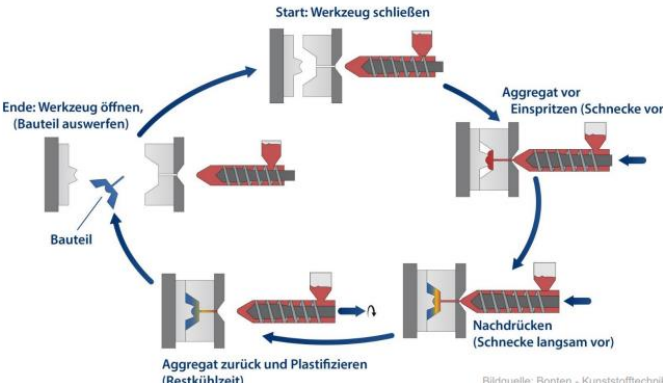
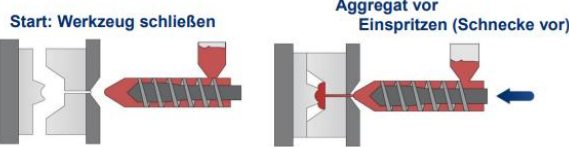
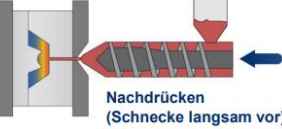
	- Druck aufbauen
Nennen Sie vier Vorteile des Helibar®-Extruders.	- Hohes Druckaufbauvermögen (bzw. hohe Pumpenleistung) - geringer mechanischer Verschleiß - geringe Kühlleistung in der Einzugszone erf. (z.B. Luftkühlung) - gute Schmelzehomogenität
Was passiert bei ungleichmäßiger Abkühlung der extrudierten Profile?	- Lunkerbildung in Innern - eventuell Verzug
Nennen Sie ein Werkzeug für die Platten- und Flachfolienextrusion.	Breitschlitzwerkzeug
Welches Verfahren eignet sich, um solche Fahrzeuge aus Kunststoff herzustellen?	Extrusionsblasformen
Wofür gibt es die Co-Extrusion? Nennen Sie zwei Anwendungsbeispiele.	Co-Extrusion zur Kombination von Werkstoffen - Oberfläche mit besserer Barriereeigenschaft - Innenfläche mit höherer Chemikalienbeständigkeit - edlere Oberfläche (teurerer Werkstoff)

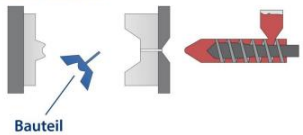
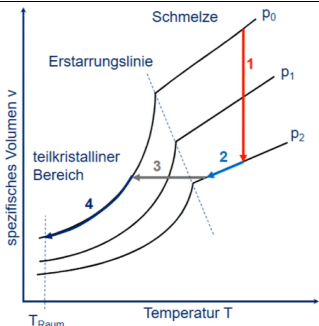
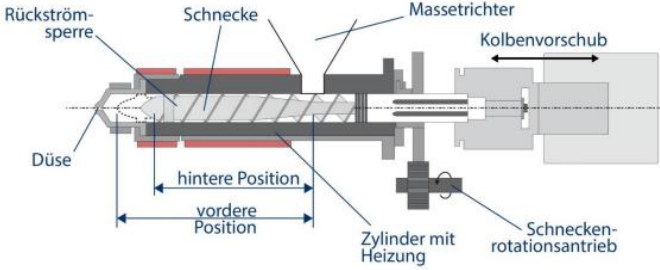
VORLESUNG 5

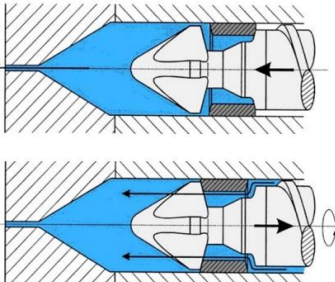
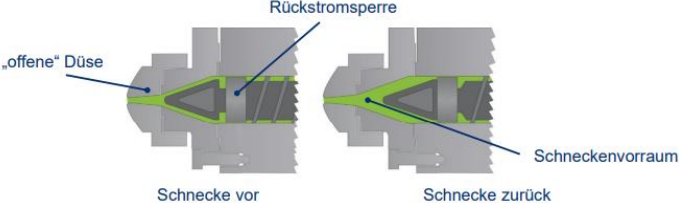
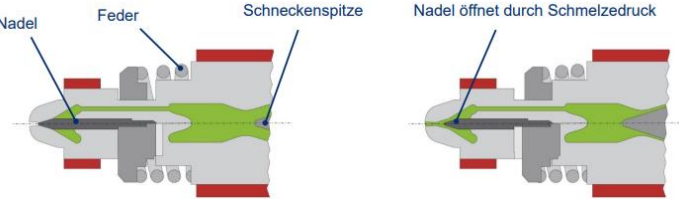
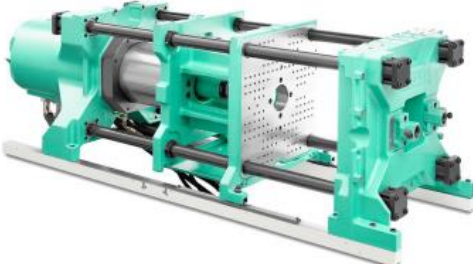
EINFÜHRUNG IN DAS SPITZGIESEN

INHALT

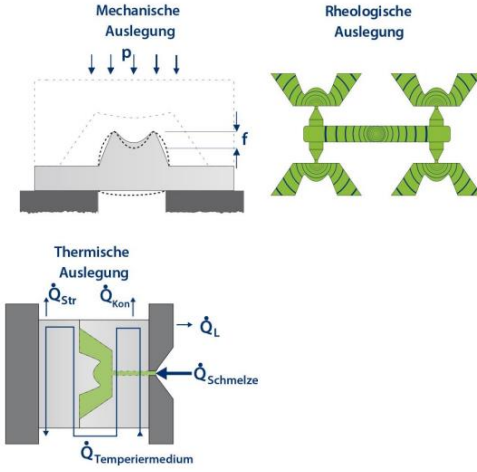
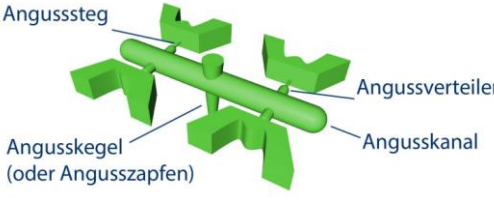
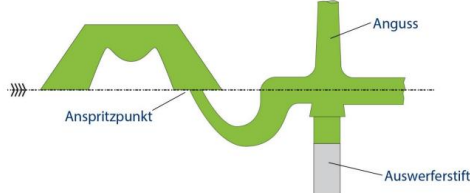
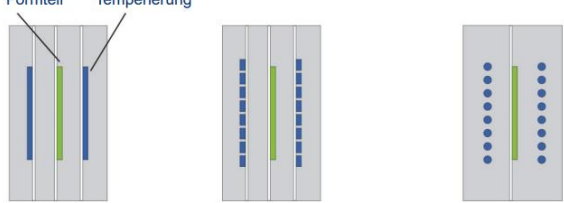
Allgemeine Merkmale zum Spritzgießen.	· Serienverfahren zur Herstellung von Kunststoffprodukten benötigen grundsätzlich ein Werkzeug zur Formgebung · Diese Werkzeuge sind meist derart „robust“ ausgelegt, dass mehrere hunderttausend Produkte darauf verschleißarm hergestellt werden können. · Serienverfahren rentieren sich, wenn große Serien bzw. große Stückzahlen gefertigt werden. (sehr teures Werkzeug) · Im Spritzgießprozess können Duomere, Elastomere und Thermoplaste verarbeitet werden. (unterschiedl. Maschinen) · Werden Thermoplaste verarbeitet, so geschieht dies meist im Temperaturbereich von ca. 200–300 °C.
Was sind die Hauptkomponenten einer Spritzgießmaschine?	 Das Diagramm zeigt eine Spritzgießmaschine in der Seitenansicht. Die Beschriftungen weisen auf folgende Teile hin: Die 'Schließeinheit' (links), das 'Werkzeug' (Mitte), die 'Einspritzeinheit' (rechts oben), das 'Maschinenbett' (untere Basis) und die 'Steuerung und Antrieb' (unten rechts). Die Maschine ist in hellgrün und gelb gehalten. Bildquelle: Arto

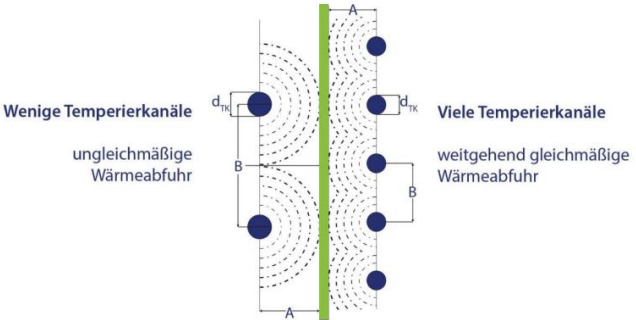
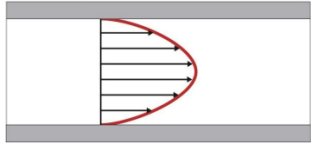
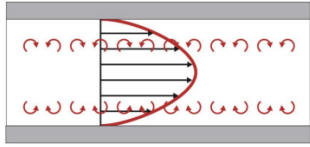
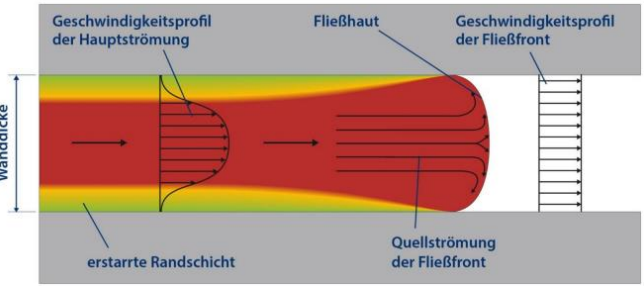
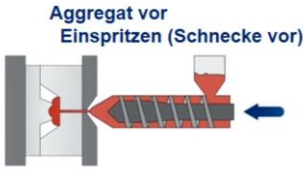
Zeichne den Spritzgießzyklus.	
Zeichne den Verfahrensablauf eines Spritzgießzyklus.	 Bildquelle: Bonten - Kunststofftechnik Schnecke wird hier als Kolben benutzt Beginnt die Schmelze abzukühlen, wird sie kontrahieren. Solange der Einguss noch nicht eingefroren geworden ist, spritze ich Schmelze nach, um das geschwundene Material zu kompensieren. Sobald fertig ist, Aggregat weg, da es so heiß ist
Beschreibe den Start des Spritzgießens und Einspritzen.	 · Das Werkzeug schließt und das Aggregat fährt vor. · Die Schnecke fährt vor und stellt somit den Einspritzdruck bereit. · An der Werkzeugwand erstarrt die Schmelze und schwindet dort schnell, nimmt also ein geringeres Volumen ein. · Wegen der niedrigen Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen bleibt der Schmelzekern weiterhin fließfähig und kann am erstarrten Rand vorbeifließen, bis er selbst erstarrt.
Beschreibe die Nachdruckphasen.	 · In der Nachdruckphase wird die Volumenschwindung mit nachgeführter Schmelze kompensiert. · Dies geht so lange, bis der Anguss erstarrt ist („Siegelzeit“).
Beschreibe die Restkühlzeit.	

	· Der Nachdruck kann nicht mehr wirken und die beheizte Schnecke kann vom gekühlten Werkzeug weggefahren werden, um sie thermisch zu entkoppeln. · Während das Formteil erstarrt, kann die Schnecke durch rotatorische Bewegung die Schmelze für den nächsten Schuss bereitstellen. · Diese wird in den geschlossenen Schneckenorraum dosiert, wobei die Schnecke während der Plastifizierung langsam zurückfährt, um den Schneckenorraum zu vergrößern und die Menge für den nächsten Schuss bereit zu stellen.
Beschreibe, wie das Bauteil ausgeworfen wird.	Ende: Werkzeug öffnen, (Bauteil auswerfen)  Bauteil · Ist das Formteil genügend gekühlt und ausreichend formstabil, wird das Werkzeug geöffnet, das Formteil ausgeworfen und das Werkzeug wieder geschlossen. · Der Zyklus kann von Neuem beginnen.
Zeichne den Spritzgießprozess im p,v,T-Diagramm.	 spezifisches Volumen v Temperatur T T_{Raum} Schmelze p_0 Erstarrungslinie teil kristalliner Bereich Beispiel für teil kristallinen Thermoplasten 1: Kompression (Einspritzen) 2: Isobare Abkühlung (optimaler Nachdruck) 3: Isochore Abkühlung (Kühlen) 4: Abkühlung bei Umgebungsdruck
Wie ist das Plastifizieraggregat aufgebaut?	 Rückströmsperre Schnecke Massetrichter Kolbenvorschub Düse hintere Position vordere Position Zylinder mit Heizung Schneckenrotationsantrieb
Welche Aufgaben hat das Plastifizieraggregat?	· Fördern, aufschmelzen und homogenisieren des Kunststoffes (Rotation) · Speichern der Kunststoffschmelze · Einspritzen der Kunststoffschmelze in das Werkzeug (axiale Bewegung) · Nachdrücken zur Schwindungskompensation des Formteils (axiale Bewegung)
Beschreibe die Anforderungen und den Ablauf an das Plastifizieraggregat.	· In der Einspritzphase wird das Werkzeug mit der Schmelze gefüllt · Das Einspritzen wird durch weggeregeltes axiales Verschieben der Schnecke im Plastifizierzylinder erreicht. · Die hohe Viskosität von Kunststoff erfordert hohe Drücke beim Füllen der Kavität (oft 1000 bis 3000 bar). · Schon mit Beginn des Einspritzens beginnt die Kühlzeit!

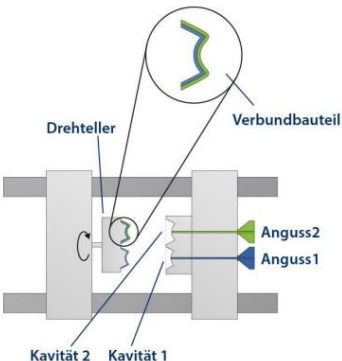
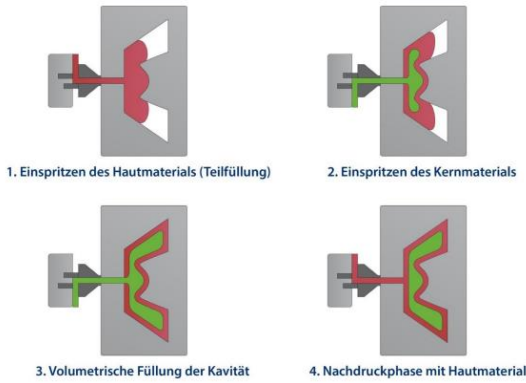
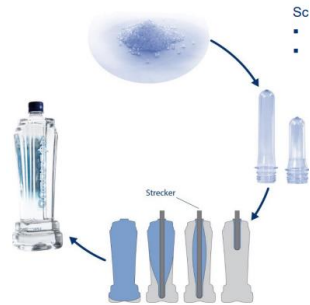
Was ist die Rückstromsperre? 	· Die Rückstromsperre soll verhindern, dass trotz des hohen Drucks (1000 bis 3000 bar) während des Einspritzens und Nachdrückens Schmelze zurück in die Schneckengänge gedrückt wird; sie muss beim Einspritzen geschlossen sein. · Sie wird „automatisch“ durch die schnelle Vorwärtsbewegung der Schnecke und den hohen Druck im Schneckenraum geschlossen. · Während des Dosiervorgangs (Bereitstellen des nächsten „Schusses“) muss die Schmelze möglichst ungestört in den Schneckenraum gelangen. Die Rückstromsperre öffnet „automatisch“, während sich die Schnecke langsam zurückbewegt.
Definiere die Einspritzdüse.	· Verbindung zwischen Plastifizierzylinder und Werkzeug · Ausgleich des Durchmesserunterschiedes zwischen Spritzzylinder und Angusskanal · Dichtung zwischen dem Spritzzylinder und Werkzeug · Außerhalb Einspritzphase kein Austreten von Schmelze
Welche Ausführungsformen der Einspritzdüse gibt es?	· Offene Düse · Verschlussdüse
Wofür wird eine offene Einspritzdüse eingesetzt?	 · Für hochviskose und temperaturempfindliche Kunststoffe (PVC, PC, auch Biokunststoffe) · Glatte Bohrung → leicht zu reinigen und zu spülen, strömungstechnisch günstig, geringe Gefahr der thermischen Zersetzung · Das Dosieren (Bereitstellen der Schmelze) für den nächsten Einspritzvorgang kann erst erfolgen, wenn der Anguss am Bauteil erstarrt ist. Nach dem Dosieren erst kann dieser mit dem Werkzeug von der Angussbuchse abgehoben werden.
Wofür werden Verschlussdüsen (hier: Nadelverschlussdüse – federbelastet) eingesetzt?	 · Für niedrigviskose Schmelzen (z. B. PA) unbedingt erforderlich. · Es muss nicht gegen den erstarrten Anguss dosiert werden, sondern dies kann auch bei von der Düse weggehobenem Werkzeug erfolgen. → weniger Wärmeübertragung zum kalten Werkzeug (Energieeinsparung), außerdem bleibt das weggehobene Werkzeug temperaturhomogener
Welche Aufgaben hat die Schließeinheit?	· Aufnahme des geteilten Werkzeuges und dessen Zuhaltung gegen den Fülldruck und Nachdruck der eingespritzten Formmasse · Öffnungs- und Schließbewegung des Werkzeuges zur Entfernung des Spritzgussteiles 

Welche Vor- und Nachteile hat eine vollhydraulische Schließeinheit?	Vorteile · Exakte Reproduzierbarkeit der Schließkraft → reproduzierbare Formteilqualität · Keine Überdehnung der Holme · Kein nennenswerter Verschleiß Nachteile · Steuerung „langsam – schnell – langsam“ erforderlich, beim Schließen und Öffnen sind große Ölmengen erforderlich.
Welche Vor- und Nachteile hat eine Schließeinheit mit Kniehebel (elektrisch oder hydraulisch)?	Vorteile · Besonders günstige Kinematik · Zunächst schnelles Schließen bei geringer Kraft · Dann langsames Schließen bei großer Kraft · Durch langsames Schließen und Öffnen der Form werden Werkzeug und Maschine geschont Nachteile · Schlechte Reproduzierbarkeit der Schließkrafteinstellung → Qualität! · Gefahr der Überdehnung der Holme · Sprungwirkung beim Lösen aus der Strecklage → Gelenkbelastung · Einseitiger Verschleiß während der Schließkrafterzeugung Steuerung „langsam – schnell – langsam“ erforderlich, beim Schließen und Öffnen sind große Ölmengen erforderlich.
Welche Funktionen hat ein Werkzeug zu erfüllen?	· Schmelze verteilen (Angussystem) · Form geben (Formnest) · Kühlen/Heizen (Temperierung) · Befestigung an Maschinenaufspannplatten und Kraftaufnahme · Entformung (Entformungssystem)
Welche Formen von Spritzgießwerkzeugen gibt es?	

Welche Anforderungen werden an Spritzgießwerkzeuge gestellt?	
Vokabeln zum Anguss	
Welche Vor- und Nachteile muss man bei diversen Angussformen abwägen?	· Abfallvolumen (Angussvolumen) · Sichtbarkeit von Bindenähten · Füllstoff-/Faserorientierungen (Schmelzefront wird im Laufe des Fließens leicht abgekühlt (auch durch Luft) → Bindenaht, wo die Schmelzen aufeinandertreffen.)
Wie sieht ein Tunnelanguss aus?	· Formteil und Anguss liegen in einer Werkzeugtrennebene · Durch die tunnelartige geführte Bohrung (Tunnel) entsteht eine scharfe Kante zwischen Werkzeugführung und Tunnel · Angussystem wird beim Entformen des Spritzgussteiles abgesichert 
Welche Temperierkanalformen gibt es?	 ▪ Physikalisch ideale Temperierung ▪ Flächenkühlung jedoch technisch nicht realisierbar ▪ Technisch optimale Temperierung ▪ Fertigung jedoch aufwendig ▪ Dichtigkeitsprobleme ▪ Technisch leicht umsetzbare Temperierung ▪ Durch Bohrungen realisierbar

Welchen Einfluss hat die Anzahl an Temperierkanälen?	
Welchen Einfluss hat der Temperiermittelfluss?	Laminare Strömung z. B. bei Öl  Bei laminarer Strömung: - keine Quervermischung - Wärmeübergang beruht hauptsächlich auf Wärmeleitung Turbulente Strömung z. B. bei Wasser  Bei turbulenter Strömung: - zusätzliche Geschwindigkeitskomponente senkrecht zur Strömungsrichtung - bessere Quervermischung, somit besserer Wärmeübergang → turbulente Strömung wird angestrebt!
Zu was kann unzureichende Wärmeabfuhr führen?	- Schlechte Bauteilqualität - Eigenspannungen - Lunker - Verzug - Sehr hohe Zykluszeiten
	 - Scher- und Dehndeformation orientiert die Schmelze (und ggf. Fasern) - Schererwärmung der Schmelze und zugleich Wärmeabfuhr über Werkzeugwand
Auf was muss bei der Einspritzgeschwindigkeit geachtet werden? 	- Hohe Einspritzgeschwindigkeit führt zu hoher Schergeschwindigkeit, welche die Schmelze leichter fließen lässt (strukturviskoses Verhalten). - Ein stets schnelles Einspritzen ist dennoch nicht anzustreben, denn durch die hohe Schergeschwindigkeit wird auch der Molekülabbau verstärkt. - Auch die Oberfläche, das Aussehen und der Orientierungszustand werden durch die Einspritzphase beeinflusst. - Stärker orientierte Polymerketten kristallisieren besser, jedoch werden Eigenspannungen und Kristallisationsgrad besonders durch die Abkühlbedingungen beeinflusst.
Was bewirkt die Nachdruckphase? 	- durch Nachdruck wird Schmelze in der Kavität komprimiert und nachgeschoben - kann der Volumenkontraktion beim Abkühlen (Schwindung) entgegen wirken, dadurch möglichst wenige oder gar keine Einfallstellen - Der Nachdruck kann so lange wirken, bis der Anguss eingefroren ist (sogenannter „Siegelpunkt“).
Welche Folgen können durch zu hohen Nachdruck auftreten?	Schwindung kann überkompensiert werden

	· bei sehr dünnflüssiger Schmelze, Schmelzefluss in die Trennebene zwischen den Werkzeughälften (Schwimmhäute) · Formteil presst sich in das Formnest und ist nicht mehr entformbar · das Werkzeug öffnet sich geringfügig („atmendes“ Werkzeug/Schädigung möglich)
Zeichne die Schwindung von Kunststoffbauteilen.	GS = Gesamtschwindung VS = Verarbeitungsschwindung NS = Nachschwindung 0 Maß des kalten temperierten Werkzeuges (23 °C) 1 Maß des durch den Prozess aufgeheizten Werkzeuges elast. Aufweitung des Werkzeuges durch Innendruck 2 Formteilmaß bei Entformen 3 Formteilmaß nach 16 h (168 h) 4 - 5 Maß nach sehr langer Lagerungszeit Zeit: 16 h, 168 h, DIN 16742 Formteilmaß Verarbeitungs-dauer Warmlagerung (Temperprozess) $S = \frac{l_w - l_{Ft}}{l_w} \cdot 100 \%$
Wie läuft das Spritzprägen ab?	1. Schließen des Werkzeuges bis auf Breite des Prägespalts 2. Einspritzen einer dosierten Schmelzemenge in die teilgeöffnete Kavität 3. Verschließen des Angusses 4. Verfahren der Schließeinheit, bis Werkzeug vollständig geschlossen → Schmelze wird gleichmäßig durch den Prägedruck in der Kavität verteilt. 5. Entformung und Abkühlung Prägespalt, Einspritzdüse, Schieber, Werkzeug Einspritzphase, Verschließen, Prägephase
Welche Eigenschaften besitzt das Spritzprägen?	· Ausformung durch Verringerung des Kavitätsvolumens beim Prägen · Präge- statt Nachdruckphase → gleichmäßigerer Druck · Verringerung von Eigenspannungen und Orientierungen · Herstellung sehr großer, dickwandiger Bauteile ohne Verzug · Höhere Abformungsgenauigkeit, hohe Maßhaltigkeit von Präzisionsbauteilen (z.B. Linsen) · Präzise Abformung von Mikrostrukturen (z.B. DVD; Blu-Ray Disc)
Wie können lange Fließwege realisiert werden?	Kaskaden-Spritzgießen · Komplexes Heißkanalsystem mit mehreren Angüssen · Hintereinandergeschaltetes Öffnen der Angussdüsen · „Kaskade“ = stufenförmiger Aufbau · + kein vorzeitiges Erstarren · + gleichmäßige Randschichten · + Vermeidung von Bindenähten · - Aufwendige Steuerung nötig! · - teuer! t_1: alle Angüsse geschlossen $t_2 > t_1$: erster Anguss freigegeben $t_3 > t_2$: nächster Anguss freigegeben usw.
Wie läuft das Montage- und Verbundspritzgießen ab?	1. Einspritzen über Angussystem 1 in Kavität 1 2. Zwischenöffnen des Werkzeuges

	3. Umsetzen des entstandenen Vorformlings in Kavität 2 4. Einspritzen über Angussystem 2 in Kavität 2 
Was sind die Besonderheiten des Montagespritzgießens?	· Herstellung von integrierten Bauteilen in nur einem Arbeitsschritt · Komponenten nicht starr verbunden, sondern zueinander beweglich: Realisierung von Gelenken, Scharnieren und Lagerungen · Das nötige Spiel entsteht durch unterschiedliche Schwindung · Kein Stoffschluss: Werkstoffe dürfen nicht kompatibel zueinander sein
Was sind die Merkmale von Sandwich-Spritzgießen?	· Herstellung von Bauteilen aus zwei Materialien im Schichtverbund · Einspritzen beider Komponenten hintereinander über den gleichen Anguss (sequentielles Verfahren/„Ineinderspritzen“) · Sandwich-Aufbau aus Haut- und Kernmaterial · (Vermischt sich nicht, da es laminar nebeneinander strömt) 
Wie läuft Spritzstreck-Blasformen ab?	· Schritt 1: Herstellung von Preforms/Vorformlings im Spritzgießen - eine Komponente - mehrere Komponenten (z.B. Barrierschicht) · Schritt 2: Aufblasen des Preforms/Vorformlings - Direkt nach dem Spritzgießen (1-Stufen Prozess) - Erneute Erwärmung des Preforms (2-Stufen-Prozess) 
Welche Vor- und Nachteile hat das Spritzstreck-Blasformen?	Einordnung gegenüber dem Extrusionsblasformverfahren: · + höhere Druckfestigkeit, da kein Butzen (insbesondere für CO₂-haltige Getränke, Druckbehälter) · + exaktere Kontur sowohl in Gewinde- als auch Hohlkörperbereich

	· + dünnwandiger möglich · - teurere Werkzeuge → nur bei Massenfertigung rentabel
--	--

KAHOOT!

Welche Aufgaben besitzt eine Spritzgießmaschinen-Schließereinheit?	a. Einspritzdruck bereitstellen b. Schmelze ausformen c. Granulat plastifizieren d. Aufnahme des geteilten Werkzeuges (d)
Welche Bauform von Verschlussdüsen gibt es?	a. Nagelverschlussdüse b. Nadelverschlussdüse c. Stiftverschlussdüse d. Schraubenverschlussdüse (b)
Was versteht man unter dem Begriff „Verarbeitungsschwindung“?	a. Bauteiltemperatur während der Verarbeitung b. Veränderung der Maße von Kunststoffbauteilen c. Benötigte Schließkraft d. Druckverlust beim Einspritzen (b)
Was ist das Streckblasen?	a. Ein Teil des Eignungstests für Kampfschwimmer b. Eine Aufwärmübung der Blasmusikkapellen c. Eine Methode zum Formen von PET-Flaschen (c)
Welche Punkte lassen sich nicht mit Spritzgießsondervverfahren umsetzen?	a. Spannungsarme Bauteile b. Bauteile mit geringem Verzug c. Farbkonzentrat-Herstellung d. Herstellung von Leichtbaubauteilen (x)

LERNSTOPP

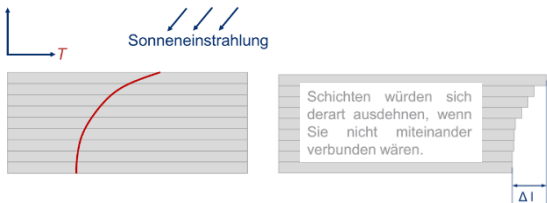
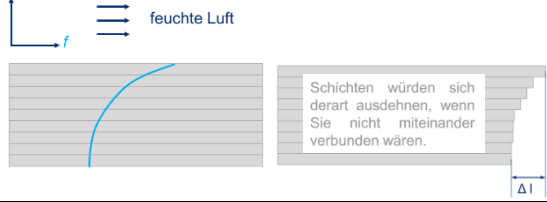
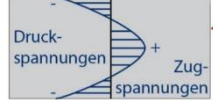
Im Diagramm sind die Spannungs-Dehnungs-Kurven verschiedener Werkstoffe zu sehen. Benennen Sie welcher Werkstoff am ... · ...festesten · ...steifsten · ...zähesten · ...sprödesten ist.	· Am festesten: PC (höchster Spannungswert) · Am steifsten: PC (größte Steigung im Ursprungsbereich) · Am zähesten: PP (größte Fläche) · Am sprödesten: PMMA (geringste Dehnfähigkeit)
Ab wann kann der Nachdruck nicht mehr wirken?	· Sobald der Anguss eingefroren ist (sogenannte „Siegelzeit“)

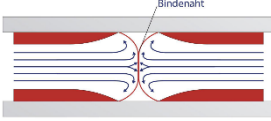
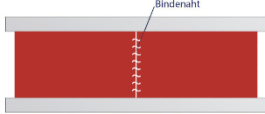
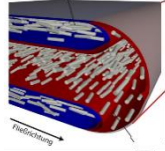
VORLESUNG 6

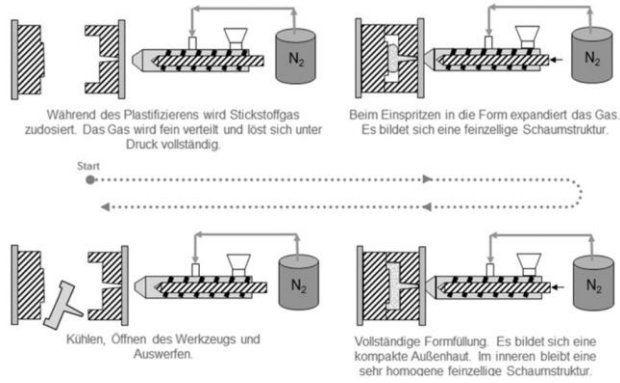
PROZESS, STRUKTUR, EIGENSCHAFTEN, BEEINFLUSSUNG DURCH DEN VERARBEITUNGSPROZESS

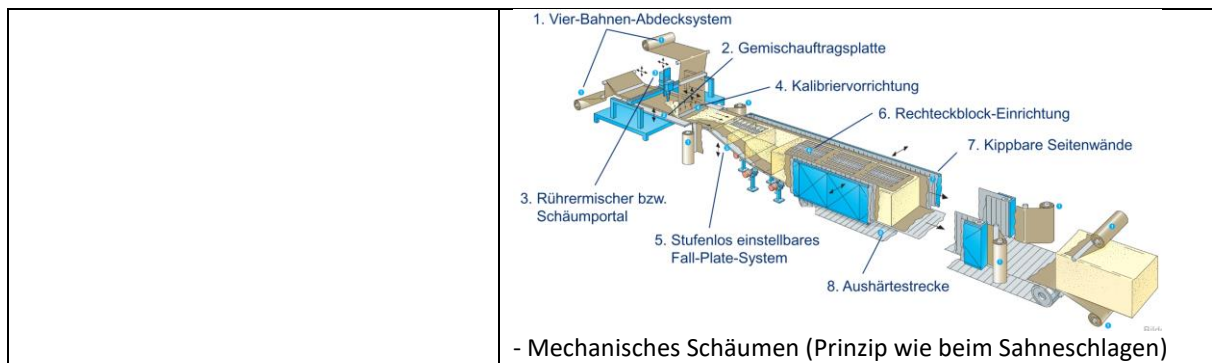
INHALT

Definiere den Begriff „Eigenspannung“?	Ganz allgemein nutzt man den Begriff Eigenspannung dann, wenn ein Bauteil auch ohne äußere Beanspruchungen einen mechanischen Spannungszustand aufweist. Eigenspannungen wirken wie äußere Spannungen und belasten den Werkstoff vor.
Was ist die Ursache für Eigenspannungen?	Ursache für Eigenspannungen sind benachbarte Bereiche des Bauteils, die unterschiedlich

	ausgedehnt/kontrahiert sind und im Verbund dann jeweils gestreckt oder gestaucht werden.
Ursache für die unterschiedliche Ausdehnung oder Kontraktion benachbarter Bereiche des Bauteils kann lokal...	- unterschiedliche thermische Kontraktion (besonders bei teilkrist. Thermoplasten), - unterschiedliche Reaktionsschwindung (besonders bei Duromeren) oder - unterschiedliche Medienaufnahme oder -abgabe (besonders bei amorphen Thermoplasten) des Werkstoffes sein.
Schichtmodell zur thermischen Ausdehnung (oder Kontraktion).	Thermische Ausdehnung (oder Kontraktion) 
Schichtmodell zur Medienaufnahme (oder -abgabe).	Medienaufnahme (oder -abgabe) 
Abkühl eigenspannungen durch unterschiedliche Schwindung	 gekühlte Werkzeugwand Wand-dicke gekühlte Werkzeugwand T_{Umgebung} Temperaturverteilung beim Abkühlen eines gerade gefüllten Bauteilabschnitts: → warmer Kern, kalter Rand nach der Abkühlung, wenn alle gedachten Schichten unabhängig voneinander frei thermisch kontrahieren könnten: → keine inneren Spannungen  Druckspannungen Zugspannungen nach der Abkühlung, Dehnungsbehinderung der einzelnen Schichten → mittlere thermische Kontraktion (Schwindung) und Eigenspannungen
Wie erhält man weniger Eigenspannung und was ist dabei abzuwägen?	Wird die Schmelze z.B. durch weniger niedrige Werkzeugtemperatur sehr langsam abgekühlt, werden alle Schichten in ähnlicherer Weise kontrahieren und es resultiert weniger Eigenspannung. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte aber in der Regel schnellstmöglich abgekühlt werden, um Produktionszeit und -kosten klein zu halten. → niedrige Werkzeugtemperatur Das Risiko hoher Eigenspannungen mit eventuell vorzeitigem Versagen im Gebrauch ist gegenüber den wirtschaftlichen Betrachtungen abzuwägen.

Welchen Einfluss die Molekülorientierung auf die Kraftübertragung?	
Wie entsteht die Orientierung von Makromolekülen?	Durch die Scherung - insbesondere an der Formwand - werden Makromoleküle ausgerichtet und beim raschen Erstarren in diesem Zustand eingefroren. Bei hoher Temperatur und ausreichenden Verweilzeiten verknäulen („relaxieren“) die Orientierungen wieder.
Was ist eine „schädliche“ Art der Orientierung?	Bei Bindenähten stoßen zwei Fließfronten aufeinander. Dabei kommt es im Bereich des Aufeinandertreffens zu einer extremen Form der Orientierung senkrecht zur Fließrichtung. Ebenso können sich an der Oberfläche Kerben bilden.  An Bindenähten ist die Kraftübertragung meist geringer als im Rest des Bauteils.
Wie ist der Abbau von Orientierungen auch in der Bindenaht möglich?	Orientierungen sind manchmal gewünscht, aber meist unerwünscht. Ist die Schmelze noch warm genug, können sich Molekülorientierungen durch die Brown'sche Molekularbewegung wieder abbauen. Bei genügend Zeit und Temperatur ist das Makromolekül wieder ungerichtet und hat die gleichen Eigenschaften in alle Raumrichtungen. Gleiches gilt für Bindenähte: Ist genügend molekulare Beweglichkeit vorhanden, können die orientierten Moleküle über die Grenzfläche hinweg verknäulen und die Schwachstelle reduzieren. 
Wie wirkt sich die Orientierung von Makromolekülen auf die Schwindung aus?	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! REGEL 1: In Orientierungsrichtung ist die Schwindung kleiner als senkrecht zur Orientierungsrichtung. → d.h. Hauptvalenzbindung schwindet weniger als eine Nebenvaleanzbindung
Was ist der Unterschied zwischen Schrumpf und Schwindung?	Schrumpf = Zurückstellen der Orientierungen Schwindung = Volumenverkleinerung (Kontraktion)
Wie orientieren sich die Fasern in Schmelzeströmung?	- Längsorientierung in den Randschichten - Querorientierung in den Kernschichten → Richtung der Schwindung in Rand- und Kernschichten ist demnach unterschiedlich! 
Wie wirkt sich die Orientierung von Fasern auf die Schwindung aus?	REGEL 2: Fasergefüllte Formmassen weisen stärkere Anisotropien bei den Schwindungswerten auf als unverstärkte Formmassen. Faserorientierungen relaxieren - im Gegensatz zu Orientierungen von Makromolekülen - nicht mit Temperatur und Zeit. Eine Bindenaht stellt eine besondere Schwachstelle bei faserverstärkten Bauteilen dar, weil die Fasern nicht mit

	Hilfe Brown'scher Molekularbewegung über die Grenzfläche wandern können.
Wie wird die kristalline Struktur durch den Prozess beeinflusst?	Bestimmte Thermoplaste können sich bei der Erstarrung teilweise ordnen (kristallisieren → teilkristalline Kunststoffe). Der Aufbau kristalliner Ordnungszustände erfolgt an Grenzflächen („Keimen“) in der abkühlenden Schmelze. - Je niedriger die Abkühlgeschwindigkeit, umso gleichmäßiger können die Makromoleküle kristallisieren (Kristallisationsgrad steigt)! - Bei sehr hohen Abkühlgeschwindigkeiten kann die Kristallisation sogar unterdrückt werden (z.B. Getränkeflasche aus PET)! - Je weniger Keime vorhanden sind, 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 (sogenannte „scherungsinduzierte Kristallisation“)!
Was sind Sphärolite?	Sphärolite sind eine besondere Anordnung von Kristall-Lamellen. Die Sphärolithgröße hat einen Einfluss auf das Verformungsverhalten. Mit geringerer Sphärolithgröße nehmen z. B. Bruchdehnung und Zähigkeit zu.
Was ist eine weitere Möglichkeit der Einflussnahme auf die Eigenschaften?	Bildung einer inneren Makrostruktur durch Schäumen von Kunststoffen - offenzellig: gute Schallisolation - geschlossenzellig: gut Wärmeisolation
Wie ist ein „Schaum(kunst)stoff“ definiert?	Nach DIN 7726 ist ein Schaum(kunst)stoff ein „Kunststoff, dessen Dichte durch die Anwesenheit zahlreicher, in seiner Masse verteilter, kleiner offener oder geschlossener Hohlräume (Zellen) verringert ist“. Dichte: - leichte Schaumstoffe $< 0,1 \text{ g/cm}^3$ - schwere Schaumstoffe $> 0,1 \text{ g/cm}^3$ Polymere: - Thermoplaste (PE, PP, PS) - Elastomere (EPDM, SBR, NBR) - Duromere (PUR, EP, UP)
Welche Schäumverfahren gibt es?	- Physikalisches Schäumen (meist von Thermoplasten) durch Expansionsverfahren: Expansion einer flüssigen in eine gasförmige Phase  - Chemisches Schäumen (Polyurethan) durch Mischverfahren: zwei sehr dünnflüssige, reaktive Komponenten und ein Treibmittel



KAHOOT!

Wie kann die Höhe der Eigenspannungen in einem Bauteil reduziert werden?	a. durch einen hohen Schereintrag b. durch sehr langsames Abkühlen c. durch eine möglichst hohe Orientierung der Makromoleküle d. durch sehr schnelles Abkühlen (b)
Wodurch werden Makromoleküle in Kunststoffbauteilen ausgerichtet?	a. durch eine hohe Temperatur b. durch eine ausreichende Verweilzeit c. durch Scherung d. durch Zusatzstoffe im Kunststoff (c)
Wie kann man die Kristallisation eines teilkristallinen Kunststoffs verhindern?	a. viele Keimbildner b. sehr schnelles Abkühlen der Schmelze c. sehr langsames Abkühlen der Schmelze d. wenige Keimbildner (b)

LERNSTOPP

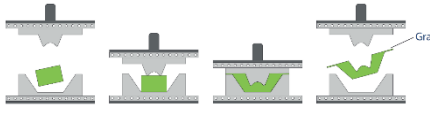
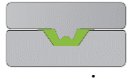
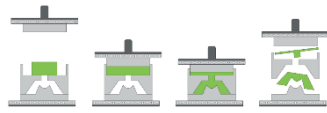
Welche Rolle spielen Bindenähte beim 3D-Drucken im Strangablegeverfahren?	Beim Strangablegeverfahren entstehen Bindenähte zwischen den einzelnen abgelegten Strängen, die stark ausgeprägt sind. Diese führen zu schlechteren mechanischen Eigenschaften als bei einem Bauteil, das z.B. im Spritzgießverfahren hergestellt wurde.
---	--

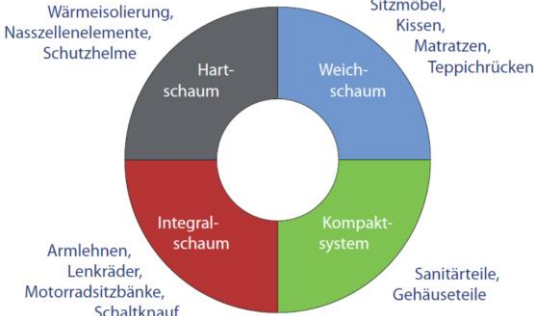
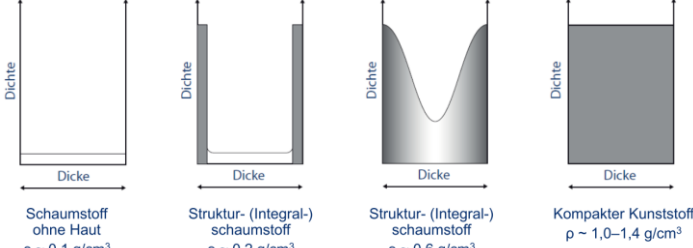
VERARBEITUNG VON VERNETZENDEN FORMMASSEN

INHALT

Was sind die Besonderheiten vernetzender Formmassen?	In Schmelze: - Monomere (Vorprodukte von Duromeren) besonders dünnflüssig - Kautschuk (Vorprodukt von vielen Elastomeren) eher zähflüssig Als Festkörper: - noch besseres elektrisches Isolationsvermögen - höhere Dimensionsstabilität (z. B. geringe Wärmeausdehnung α) - hohe Temperatureinsatzgrenzen - hohe Medienbeständigkeiten - günstigeres Brandverhalten - Sicherheitsreserven bei Temperaturspitzen Duromere besitzen darüber hinaus eine für Kunststoffe hohe Festigkeit, Steifigkeit und Oberflächenhärte. Sie stellen sich bei
--	--

	geringer Dehnbarkeit elastisch zurück. (Elastomere stellen sich bei hoher Dehnbarkeit ebenfalls elastisch zurück.)
Was ist der allgemeine Prozessunterschied zwischen thermoplastischen Kunststoffen und vernetzenden Formmassen?	<pre> graph LR subgraph "thermo-plastische Kunststoffe" A[thermo-plastische Kunststoffe] -- "+ Wärme" --> B[Schmelze] B -- "- Wärme" --> C[festes Formteil] C -- "+ Wärme" --> D[erneute Schmelze] end subgraph "vernetzende Formmassen" E[vernetzende Formmassen] -- "+ Wärme" --> F[Schmelze] F -- "+ Wärme" --> G[festes Formteil] G -- "+ Wärme" --> H[Gefahr der Zersetzung] F -- "Härtungsreaktion!" --> G end </pre>
Wie ist die Härtereaktion eines Duromers?	a. Mit Werkzeugkontakt steigt die Temperatur der unvernetzten Harzmasse an. b. Ab bestimmter Energiemenge startet die exotherme Härtereaktion. → zusätzlicher Temperaturanstieg c. Nach abgeschlossener Reaktion nimmt die vernetzte Formmasse die Werkzeugtemperatur an.
Wie ist das Fließ-/Härtungsverhalten eines Duromers?	- Die vernetzende Formmasse wird erwärmt. → Viskosität sinkt - Mit Start der Vernetzungsreaktion steigt die Viskosität. - Für die Verarbeitung bleibt somit nur ein begrenztes Zeitfenster (ca. 60 s).
Was ist Vulkanisation?	Vulkanisation - Vernetzung zu Elastomeren - von Charles Goodyear 1839 entdeckt Vorgang - Mischung aus (unvernetztem) Kautschuk, Schwefel, Katalysatoren und Füllstoffen erhitzen, - dabei werden die bereits langkettigen Kautschukmoleküle durch Schwefelbrücken vernetzt und - der plastische Kautschuk wird in ein elastisches Elastomer überführt. Begriff „Vulkanisation“ - Vernetzung mithilfe von Schwefel oder Schwefelverbindungen; dieser Geruch war früher nur von Vulkanen her bekannt.
Welchen Einfluss hat die Vulkanisation auf die Elastizität des Elastomers?	- Die Elastizität (Rückstellfähigkeit) des Elastomers ist abhängig von der Anzahl der Schwefelbrücken. Auch gilt, je mehr Schwefelbrücken vorhanden sind, desto härter wird das Elastomer. - Die Anzahl der Schwefelbrücken ist abhängig von der zugesetzten Schwefelmenge und der Vulkanisationsdauer. - Alterung des Elastomers: Schwefelbrücken werden nach und nach durch Sauerstoffbrücken ersetzt → das Elastomer verliert seine Dehnfähigkeit und Elastizität
Wie funktioniert das Pressen am Beispiel Vulkapressen von Kautschuk?	- Der unvernetzte Kautschuk (Mischung mit Schwefel und Katalysatoren) wird am Werkzeug erhitzt und zähflüssig. Zugleich startet der Vulkanisationsprozess. - Nachdem die Vulkanisation abgeschlossen ist, wird die Form geöffnet und das Formteil kann entnommen werden. - Beim Überlaufwerkzeug ist der sich bildende Grat wichtig, um den Nachdruck sicherzustellen und somit Einfallstellen zu

	verhindern. Er muss allerdings anschließend entfernt und entsorgt werden. - Die Zykluszeit ist relativ lang und die Vernetzung im Bauteil, je nach Wanddickenunterschieden, eher ungleichmäßig. 
Welche Werkzeuge werden beim Pressen verwendet?	Beim Pressen werden meist entweder Tauchkanten- oder Überlaufwerkzeuge verwendet.
Was ist der Unterschied zwischen Tauchkanten- oder Überlaufwerkzeug?	Füllraumwerkzeug (Tauchkantenwerkzeug) - Besitzt gut dichtende Trennebene - Benötigen eine genaue Dosierung der Formmasse, da sonst bei Überdosierung Einfallstellen entstehen können  Überlaufwerkzeug - Nutzen Überschuss, um Reaktionsschwindung zu kompensieren - Entstehender Grat muss entfernt werden 
Was ist das Transferpressen?	Das Transferpressen ist ein Verfahren für die Verarbeitung von Kautschuk zu Elastomer. (Verfahren zwischen Pressen und Spritzgießen) - Das unvernetzte Vorprodukt wird in einen Transfertopf gelegt. - Erst nach dem Schließen der Presse wird die eigentliche Kavität gefüllt. - Nach abgeschlossener Vulkanisation müssen sowohl Bauteil als auch das Transferfell entfernt werden. 
Was sind Vor- und Nachteile des Transferpressens?	Vorteil: Geringere Zykluszeit und gleichmäßigere Vernetzung als beim Vulkapressen Nachteil: Der hohe Abfallanteil („Transferfell“) ist teuer.
Wie läuft das Verfahren des Duomer- und Elastomerspritzgießens ab?	- Die Vorprodukte werden z. B. als körniges Haufwerk, Schnitzmassen klebriger Konsistenz oder seltener als flüssiges Monomer in die Spritzgießmaschine eingefüllt und in den Schneckengängen erwärmt. - Sobald die Reaktion startet, muss der Zylinder gekühlt werden, damit die Vernetzung nicht bereits dort bzw. im Schneckenorraum stattfindet. - Eingespritzt wird in ein beheiztes Werkzeug (180–300 °C). - Die Vernetzungsreaktion kann bis zu mehreren Minuten dauern. - Sonderfall: Bei der Verwendung monomerer Vorprodukte (Flüssigsilikon) wird das Spritzgießwerkzeug aufgrund der niedrigen Viskosität der Monomere noch schneller gefüllt als beim Thermoplast-Spritzgießen. Hier gibt es auch eher Überspritzungen, die beseitigt werden müssen.
Was ist ein wirtschaftlicher Nachteil bei der Verarbeitung von Duomeren und Elastomeren im Vergleich zu Thermoplasten?	Die Vernetzungsreaktion kann bei Duomeren und Elastomeren mehrere Minuten dauern, während es bei den Thermoplasten im Bereich von ca. 20-40 s dauert.
Was sind Besonderheiten beim Spritzgießen von vernetzenden Formmassen?	- Im Werkzeug verbleiben meist Rückstände (unpolymerisierte oder auch zersetzte Formmasse, Gratreste), die entfernt werden müssen (teuer). - Das Werkzeug leidet unter Abrasion, wenn Füllstoffe verwendet werden und unter besonderer Korrosion, wenn reaktive Monomere eingesetzt werden. - Somit ist das Spritzgießen von Duomeren und Elastomeren langsamer und teurer als das Thermoplast-Spritzgießen, gilt aber dennoch als schnellste Verarbeitungsart von vernetzenden Formmassen.

Welche Anlage benötigt man für das Liquid Silicon Rubber (LSR) – Spritzgießen?	Für das LSR-Spritzgießen werden konventionelle Spritzgießanlagen verwendet, denen eine Dosieranlage für Flüssigsilikon (Monomer) beigestellt wird.
Woraus besteht Silikonkautschuk?	Silikonkautschuk ist siliziumbasierter (Si) Kautschuk, welcher keine Kohlenstoffketten in der Hauptkette besitzt. (Einziger Kunststoff, der nicht aus Kohlenstoff besteht)
Welche Eigenschaften hat Silikonkautschuk?	- hohe Einsatztemperaturen - hohe Witterungsbeständigkeit - sehr gute chemische Resistenz - besonders gute Eigenschaften bei Körperkontakt (Medizintechnik!)
Schaumkunststoffe besitzen...	- eine sehr niedrige Dichte (0,01 bis ca. 1 g/cm³) - eine zellige Struktur mit Stegen und Zellwänden
Die Schaummorphologie wird charakterisiert durch...	- die Zellgeometrie, - die Zellgröße und deren Verteilung sowie - die Gesamtdichte und die Dichteverteilung.
Nenne Vor- und Nachteile von Schaumstoffen.	Vorteile: - Steigerung der Biegesteifigkeit (Hartschaum) dank Erhöhung des Steiner-Anteils - Energieabsorption, Werkstoffeinsparung, hohe Isolationswirkung (Weichschaum) Nachteile: - geringe Festigkeit - Oberflächenmängel - keine exakte Eigenschaftsvorhersage
Polyurethanschäume: Anwendungsbeispiele	
Wie unterscheiden sich die Dichteverläufe verschiedener Schäume?	Je nach Wahl des Treibmittels und der physikalischen Randbedingungen lassen sich Schäume herstellen, die einen zelligen Kern sowie weitgehend zellfreie Randbereiche aufweisen, so dass im Idealfall ein parabelförmiger Dichteverlauf (Integralschaum) entsteht. 
Was ist der technisch und wirtschaftlich wichtigste Anwendungsbereich von Schäumen?	Verarbeitung von Polyurethan (PUR)
Wie kann das Eigenschaftsspektrum von Polyurethan in weiten Bereichen variiert werden?	durch die Wahl der - Rohstoffe, - der Zusatzstoffe, - der Art des Schäumungsprozesses
Mögliche Zusatzstoffe für Polyurethan sind z.B.:	- Fasern, - Mineralmehl,

	- Farbstoffe, - Flammenschutzmittel.
Polyurethan (PUR) – Werkstoff nach Maß	Der Werkstoff entsteht auch hier erst während der Verarbeitung. (nicht auswendig lernen)
Wie entsteht Polyurethan?	- Polyurethan wird durch die Polyaddition von Polyisocyanaten und Polyalkoholen (Polyolen) gewonnen. - Trifunktionelle Gruppen lassen ein dreidimensionales Netzwerk entstehen. - Je nach Vernetzungsgrad entsteht ein Duromer oder ein Elastomer. (chemische Formel nicht auswendig lernen)
Was ist eine Treibreaktion?	- Zur Herstellung von Schaumstoffen ist der Einsatz von Treibmitteln (z. B. Wasser) notwendig. - Bei der Reaktion entsteht Kohlenstoffdioxid (CO₂). - Das CO₂ schäumt das immer höher viskos werdende Reaktionsgemisch auf. - Da CO₂ mit der Zeit ausdiffundiert, schwindet der Schaumstoff, außerdem versprödet er dabei etwas. Daher finden zunehmend andere Treibmittel wie Pentane oder Fluorkohlenwasserstoffe Verwendung.
Mit welchem Verfahren werden viele Bauteile aus Polyurethan hergestellt?	Reaction-injection-moulding (RIM): - Das noch nicht reagierte Gemisch wird in eine offene oder geschlossene Form eingebracht. - Bei offener Form ist keine rheologische Werkzeugauslegung erforderlich. - Offene Werkzeuge sind auf langsame PUR-Systeme und die Herstellung von Produkten mit zusätzlichen Verstärkungsmitteln beschränkt. - Schnelle PUR-Systeme, Integralschaumstoffe oder Schäume hoher Dichte werden primär in geschlossenen Formen verarbeitet.

KAHOOT!

Welches ist keine Besonderheit vernetzender Formmassen?

- a. gutes elektrisches Isolationsvermögen
- b. hohe Temperatureinsatzgrenzen

	c. wieder aufschmelzbar d. hohe Medienbeständigkeit (c)
Was ist ein Nachteil des Transferpressens?	a. ungleichmäßige Vernetzung b. hohe Zykluszeiten c. der hohe Abfallanteil d. sehr komplizierte Temperaturführung (c)
Das Vulkapressen ist ein Verfahren zur Verarbeitung von ...	a. amorphen Thermoplasten b. teilkristallinen Thermoplasten c. Elastomeren d. Kautschuken (d)
Wann werden offene Werkzeuge beim RIM-Prozess eingesetzt?	a. nie b. bei schnell reagierenden Systemen c. bei langsam reagierenden Systemen d. für Schäume hoher Dichte (c)

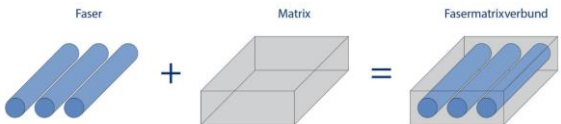
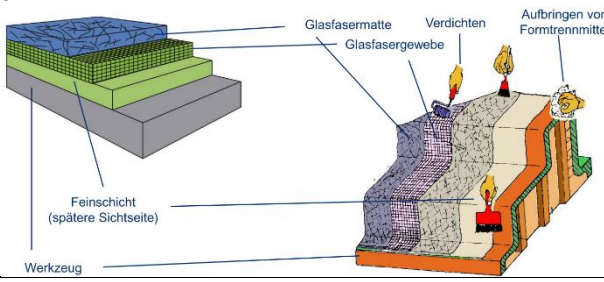
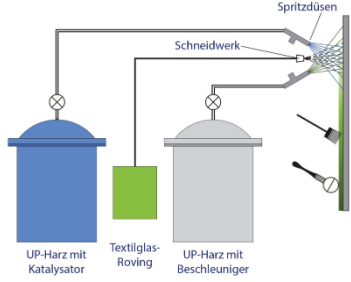
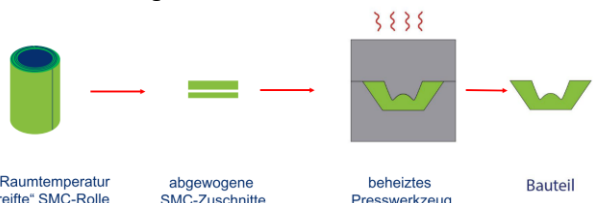
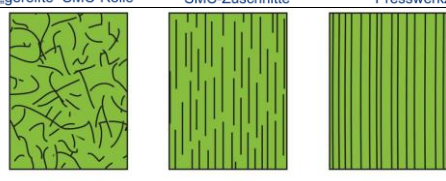
LERNSTOPP

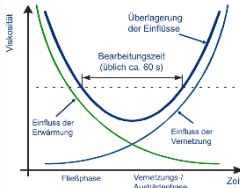
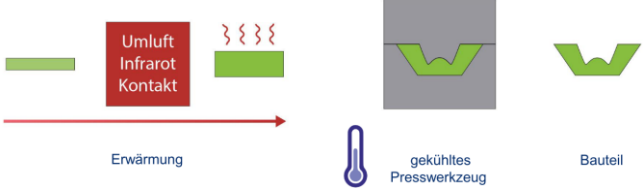
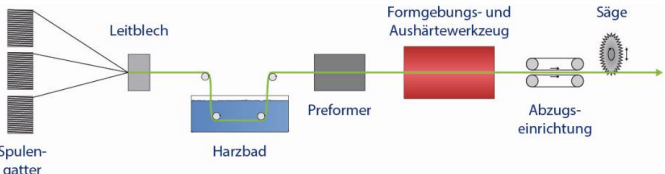
Stellen Sie den Einfluss der Erwärmung und zugleich der Vernetzung auf die Viskosität einer vernetzenden Formmasse grafisch dar. (kommt fast immer dran!)	
Was passiert, wenn die Vernetzungsphase später einsetzt? (Transferaufgabe)	Bearbeitungszeit steigt, weil rechte Kurve nach rechts wandert.
Erklären Sie die Hauptunterschiede im Prozessablauf des Spritzgießens von Thermoplasten und von vernetzenden Formmassen.	Spritzgießen Thermoplast: - Beheizte Schnecke - Gekühltes Werkzeug Spritzgießen vernetzender Formmassen: - Gekühlte Schnecke - Beheiztes Werkzeug
Auf welche Weise können die Eigenschaften von Polyurethanen beeinflusst werden? Nennen Sie mindestens drei Einflüsse.	Das Eigenschaftsspektrum kann in weiten Bereichen variiert werden, durch die Wahl der - Grundkomponenten, - der Hilfs- und Zusatzstoffe und - der Art des Schäumprozesses. Der Werkstoff entsteht hierbei während der Verarbeitung. Mögliche Zusatzstoffe sind: - Fasern, Mineralmehl, - Farbstoffe und - Flammenschutzmittel.

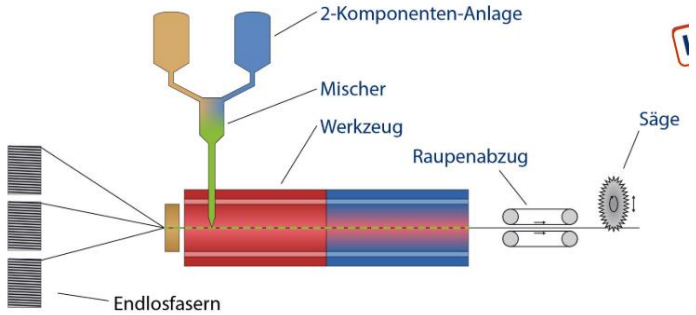
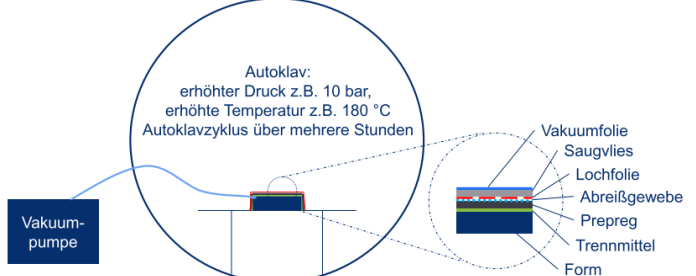
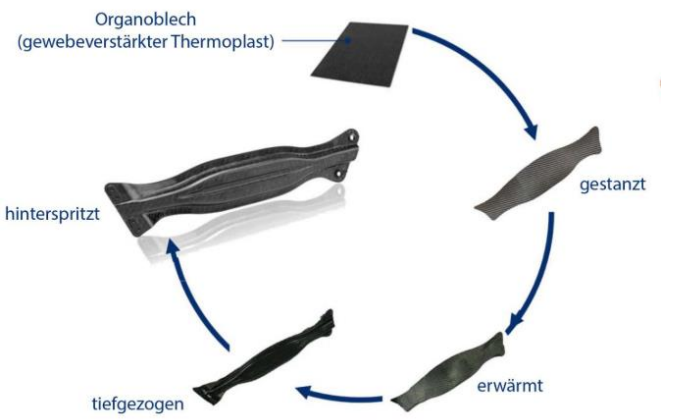
EINFÜHRUNG IN DIE TECHNOLOGIE DER FASERKUNSTSTOFFVERBUNDE

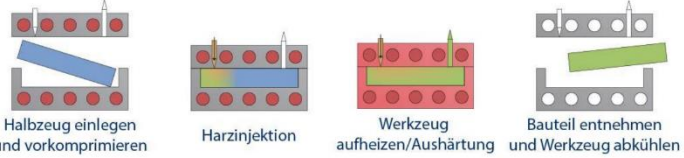
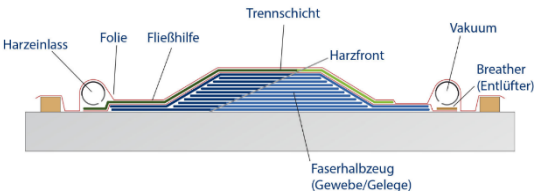
INHALT

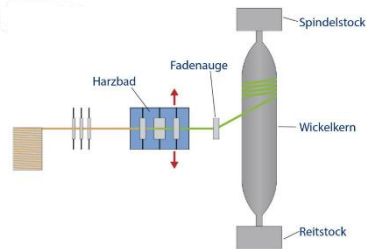
Was ist ausschlaggebend für den Einsatz von Faserkunststoffverbunden (FKV)?	σ/ρ und E/ρ - Die massespezifischen mechanischen Eigenschaften machen sie für den Einsatz in bewegten Bauteilen besonders attraktiv: Geringe Massenträgheit bedeutet Energieeinsparung während der Gebrauchsphase!
---	--

	- Je länger die Faser, desto besser die Kraftübertragung, allerdings erschweren lange Fasern die kostengünstige Serienproduktion!
Wie kommt die Faser in die Matrix (mögliche Verfahren)?	- Handlaminieren und Faserspritzen - Pressen von SMC/GMT - Pultrusion von Endlosfasern - Arbeiten mit Prepreg - Harzinjektionsverfahren - Dreidimensionale Faserkunststoffverbundstrukturen  Faser + Matrix = Fasermatrixverbund
Wo und wie wird handlaminiert?	(Große) Kleinstserienteile: Windenergie, Segelflugbau, Bootsbau etc.  Labels in diagram: Glasfasermatte, Glasfasergewebe, Verdichten, Aufbringen von Formtrennmittel, Feinschicht (spätere Sichtseite), Werkzeug
Faserspritzen mit handgeführter Sprühpistole – Verfahren und Anwendung.	- Glasfaser/UP-Harz - kostengünstig - automatisierbar - nur geringe Steigerung der mechanischen Eigenschaften, da isotropes Wirrfaserlaminat  Labels in diagram: UP-Harz mit Katalysator, Textilglas-Roving, UP-Harz mit Beschleuniger, Spritzdüsen, Schneidwerk Anwendungen: z. B. Wasserrutschbahnen, Badewannen, Schwimmbecken
Was ist SMC?	Bei den Formstoffen SMC (engl.: Sheet Molding Compound) handelt es sich um Formstoffe, die aus einem duromeren Harzsystem (meist Polyesterharze), Verstärkungsfasern (z. B. Glasfasern) und Füllstoffen bestehen. Sie werden in ein beheiztes (!) Presswerkzeug gelegt, um dort durch Vernetzung auszuhärten.  Labels in diagram: bei Raumtemperatur „gereifte“ SMC-Rolle, abgewogene SMC-Zuschnitte, beheiztes Presswerkzeug, Bauteil
Welche Ausrichtungen gibt es bei den SMC-Halbzeugen?	 SMC-R SMC-D SMC-C mit unausgerichteten Langfasern mit gerichteten Langfasern mit gerichteten Endlosfasern
Wie ist der prinzipielle Ablauf des SMC-Prozessens?	1. Einlegen der zugeschnittenen Halbzeuge in das beheizte Presswerkzeug 2. Schließen des Presswerkzeugs, Pressen der Formmassen 3. Aushärten der Formmassen

Wie ist der Viskositätsverlauf von SMC?	4. Öffnen des Presswerkzeugs, Entformen des Formteils Bei der Verarbeitung von SMC erfolgt die Erstarrung der Formmasse durch Vernetzung nach Wärmezufuhr. - Das Vorprodukt wird erwärmt. → Viskosität sinkt - Mit Start der Vernetzungsreaktion steigt die Viskosität. - Für die Verarbeitung bleibt somit nur ein begrenztes Zeitfenster. 
SMC im Vergleich zur Metallausführung	Sonnendach aus SMC: - 25 % Gewichtsersparnis - Integration von Funktionen - ein Bauteil ersetzt 20 Metallbauteile - Gestaltungsfreiheit (cw-Wert) Stoßfänger aus SMC: - Gestaltungsfreiheit - geringere Investitionskosten - keine Korrosion - geringes Gewicht - hohe Stoßfestigkeit
Was ist GMT?	Die Glasmattenverstärkte Thermoplaste (GMT)-Halbzeuge werden vor dem Umformen erwärmt, um sie verformbar zu machen, dann im kalten (!) Werkzeug umgeformt und bis zur Formstabilität gekühlt. 
Vergleich SMC – GMT (Wissen!!)	SMC-Bauteile - duomere Matrix - höhere Steifigkeit - temperaturbeständiger - inhärenter Flammenschutz - besser lackierbar GMT-Bauteile - thermoplastische Matrix - höhere Schlagzähigkeit - geringere Materialkosten - Rohmaterial lagerbar (über längere Zeit) - schönere Oberflächen ohne Lackierung
Wie erfolgt die Pultrusion von Endlosfasern (Profile mit duomerer Matrix - Stand der Technik)?	Ausnutzung der niedrigen Viskosität der Monomere zur Faserbenetzung im Harzbad, nachfolgend Polymerisation zu Duomeren. 
Was ist die „In-situ Polymerisation“?	„In-situ Polymerisation“ von Thermoplasten: Ausnutzung der niedrigen Viskosität der Monomere eines Thermoplasten zur Faserbenetzung, nachfolgend Polymerisation zum Thermoplasten (unüblich!).

	
Was ist ein Prepreg?	Wichtige begriffliche Unterscheidung bei Faserhalbzeugen: - „trocken“: reines Fasermaterial - „nass“: Faser, bereits mit Monomer oder Polymer imprägniert (aber nicht zwangsläufig wirklich nass) → Prepreg (dt. „vorimprägniertes“ Halbzeug)
Zwischen welchen Prepregs wird unterschieden?	Duromerbildende Prepreg: Fasern liegen in unausgehärtetem, anvernetztem („B-Stage“) Harzsystem vor. Thermoplastische Prepreg: Fasern sind in eine thermoplastische Matrix eingebettet, die zur Verformung wieder aufgeschmolzen werden muss.
Was ist beim Arbeiten mit Duromerbildenden Prepregs zu beachten?	- Duromerbildende Prepreg müssen kühl (z.B. bei -18°C) gelagert werden, sonst härten die Monomere ggf. vorzeitig aus. Je nach Harzsystem gekühlt mehrere Wochen bis Monate lagerbar - Prepreg müssen zur Verarbeitung auf Raumtemperatur erwärmt werden, um die gewünschte Ablegbarkeit und den gewünschten „Tack“ (Klebrigkeit) zu erzielen (B-Stage). - Verarbeitung z.B. im Autoklavprozess oder durch Heißpressen - Die Verwendung duromerbildender Prepreg ist die aktuell am häufigsten vorkommende Verarbeitungsmethode für kohlenfaserverstärkte Kunststoffe (CFK). Dies liegt in der hohen Reproduzierbarkeit und Qualität (Faserorientierung, Faservolumengehalt).
Was ist der Autoklavprozess?	
Wie wird ein Thermoplast-Prepreg verarbeitet?	
Nenne ein Anwendungsbeispiel von Prepregs.	Spritzgegossenes E-Bike „NUVELOS“ von REHAU: Verstärkung mit Organoblech

Wie kann die Widerstandserwärmung als effiziente Aufheizmethode für thermoplastische Prepregs genutzt werden?	Ersetzen des Infrarot-Strahlungsofens durch direkte Bestromung der Kohlenstofffasern - Hoher Wirkungsgrad - Schnelle Erwärmung - Schonende Erwärmung - Einsparung von zwei Prozessschritten
Was ist das Harzinjektionsverfahren?	Verfahren, bei denen die Verstärkungsmaterialien („Preform“ bzw. „Vorformling“) trocken vorliegen und nun mit der Matrix durchtränkt werden. + → Überdruck – RTM (Resin Transfer Molding) - → Unterdruck – z.B. VARI (Vacuum Assisted Resin Infusion)
Wie funktioniert RTM?	 - Injektion durch Überdruck - Halbzeug erhält Form durch Werkzeuggeometrie - Aushärtung des Duromers im Werkzeug - Nachvernetzung des Bauteils im Ofen, um Werkzeug schnell wiedereinsetzen zu können
Was sind Vor- und Nachteile des RTM?	Vorteile: - geeignet für kleine und mittlere Serien (1.000 – 10.000 Stück/a) - Realisierung von Bauteilen mit hohen Faservolumengehalten (bis 65 %) - geschlossener Prozess, daher minimale Emissionen am Arbeitsplatz - beidseitig gute Oberflächenqualität - reproduzierbare Qualität: Faservolumengehalt, Wanddicke, Bauteilgewicht und Maße Nachteile: - zweiteilige Werkzeuge und Schließmechanismus notwendig - Zykluszeiten mindestens 10 Minuten (→ hohe Prozesskosten!) - eingeschränkte Gestaltungsfreiheit
Was ist vor- und nachteilig an Hochdruck-RTM?	Höhere Werkzeugkosten erfordern höhere Stückzahlen zur Amortisation. Der Prozess ist allerdings auch schneller und dadurch für größere Stückzahlen geeignet.
Wie funktioniert VARI?	- Infusion durch Unterdruck (langsamer als RTM) - nur geringe Formvariabilität (eher flache Bauteile wie Flügel oder Spoiler) - Fließhilfe sorgt zunächst für Harzfluss in horizontaler Richtung - anschließend Harzfluss in Dickenrichtung - geeignet für großflächige Bauteile, bei denen sich Werkzeuge nicht lohnen 
Flechten als dreidimensionale Faserkunststoffverbundstruktur.	Flechten: 2-dimensionales Halbzeug aus Rovings, durch Umflechten eines Kerns 3-dimensionale Strukturen in einem Verfahrensschritt möglich - demontierbare Kerne (meist Aluminium) - lösliche Kerne: z. B. wasserlöslicher Kern, der nach dem Flechtprozess herausgelöst wird - verbleibende Kerne: z. B. mit Funktionsintegration durch Barrierschichten in Druckbehältern

	- Geometrie eingeschränkt, keine kleinen Kantenradien - sehr lange Prozesszeit
Aus was sind die Matrixsysteme beim Flechten?	- In der Regel Duromer: Flechten von Fasern führt zu einem trockenen Halbzeug, anschließend wird ein Harzinjektionsverfahren angewendet - Weniger Thermoplast: Schmelze zu dickflüssig für ein Durchtränken, daher besteht ein Teil der Fasern aus Thermoplast-Fasern (Hybridfasern). Das geflochtene Teil wird erwärmt, die Thermoplastfasern schmelzen auf und benetzen die anderen Fasern beim Pressen.
In welchen Winkeln wird geflechtet?	- Faserwinkel einstellbar über Vorschubgeschwindigkeit - Biaxial-Geflecht: zwei Faserrichtungen (20° - 85°) - Triaxial-Geflecht: zusätzlich eine 0°-Faser möglich - Mehrschichtverbund durch mehrmaliges Überflechten
Wickeln als dreidimensionale Faserkunststoffverbundstruktur.	Wickeln: Umwickeln eines rotierenden Kerns mit Rovings - Verarbeitung aller Faser- und Harztypen, oder Prepregs (Autoklav nötig) - einstellbarer Faserwinkel, aber keine 0°-Faser möglich - beschränkt auf rotierbare, konvexe Geometrien - Wickelgeschwindigkeit aktuell bis 3,2 m/s - hohe Reproduzierbarkeit - gute Automatisierung 
Was sind Vorteile von FKV (v.a. CFK)?	- höchste gewichtsspezifische Materialeigenschaften - Eigenschaften können dem Lastpfad angepasst werden - Korrosionsbeständigkeit
Was sind wichtige Aktivitäten aktueller Forschungen?	- Prozessbeschleunigung (z.B. Hochdruck-RTM, Organoblechverarbeitung, In-situ-Pultrusion) - Einsatz thermoplastischer Matrix (v.a. Automobilbau) - Zerstörungsfreie Prüfung zur Detektion von unsichtbaren Schäden - Reparatur von Faserkunststoffverbunden (FKV) - Recycling von FKV

KAHOOT!

SMC-Bauteile sind ... als GMT-Bauteile.	a. leichter b. temperaturbeständiger c. schlechter lackierbar d. günstiger (b)
Welcher Vorteil ergibt sich beim Faserwickeln gegenüber dem Flechten?	a. Einstellbarer Faserwinkel b. Geringere lokale Faserkrümmung c. Thermoplastische Matrix möglich d. Kein Kern notwendig (b)

LERNSTOPP

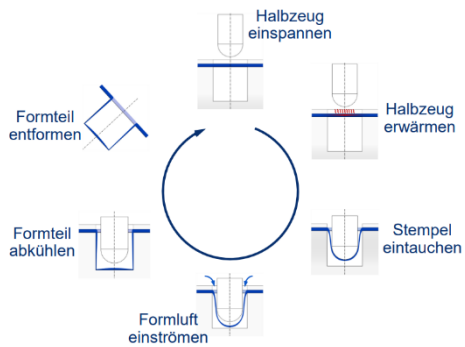
Diskutieren Sie den Begriff „Leichtbau“. (in VL gestellt, ohne Antwort)	Es geht nicht nur ums Gewicht, sondern eigentlich um die Masse. Die Masse gibt an, wie schwer ein Körper ist, also wie viel Materie er enthält: $m = \rho \cdot V$. Das Gewicht bezeichnet dagegen, welche Kraft ein Körper aufgrund der Erdanziehungskraft auf den Boden ausübt: $F_G = m \cdot g$.
---	---

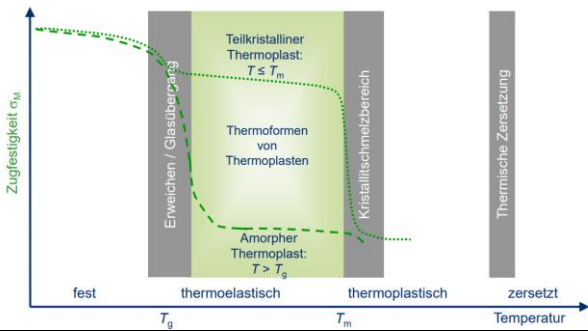
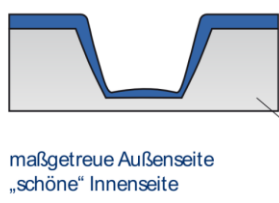
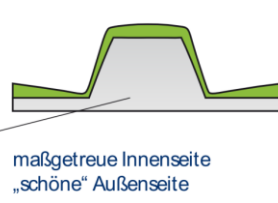
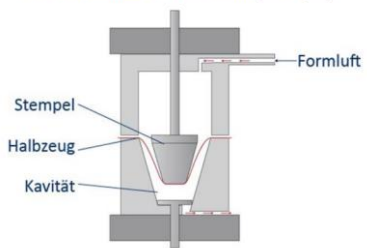
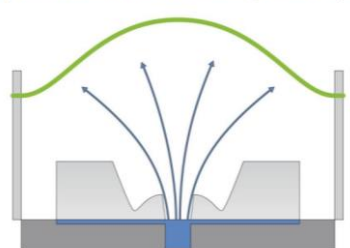
Nennen Sie zwei Anwendungsbeispiele für das Handlaminieren von Faserkunststoffverbunden.	Wasserrutschbahnen, Badewannen, Schwimmbecken, aber auch Segelflugzeuge, Windkraft-Rotorblätter
Welchen Vorteil hat die In-situ-Polymerisation von endlosfaserverstärkten Thermoplasten in der Pultrusion? Warum nicht mit Schmelze pultrudieren?	Ausnutzung der geringeren Viskosität des Monomers → gute Durchtränkung Schmelze ist zu zähflüssig und bekommt man daher nicht zwischen jede der dünnen Fasern.
Erläutern Sie die unterschiedlichen Lagerungsbedingungen duromerer und thermoplastischer Prepreg.	- Duromer: kühl lagern, sonst Aushärtung - Thermoplast: keine Lagerprobleme
Wann wählt man RTM, wann VARI zur Infiltration eines trockenen Vorformlings?	- RTM: Hohe Stückzahlen - VARI: Einzelstücke bis geringe Stückzahlen

VORLESUNG 7

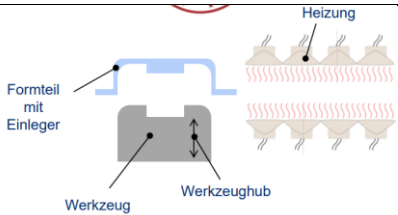
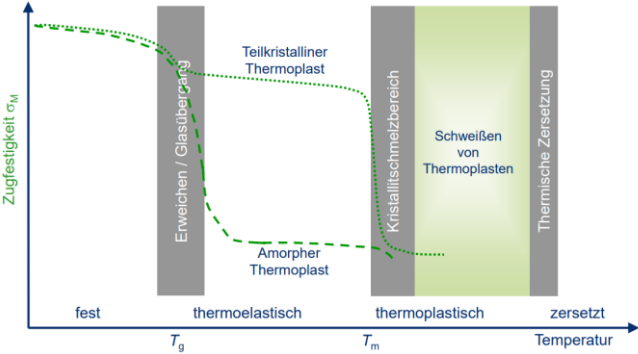
ÜBERBLICK ÜBER DIE WEITERVERARBEITUNG VON KUNSTSTOFFEN

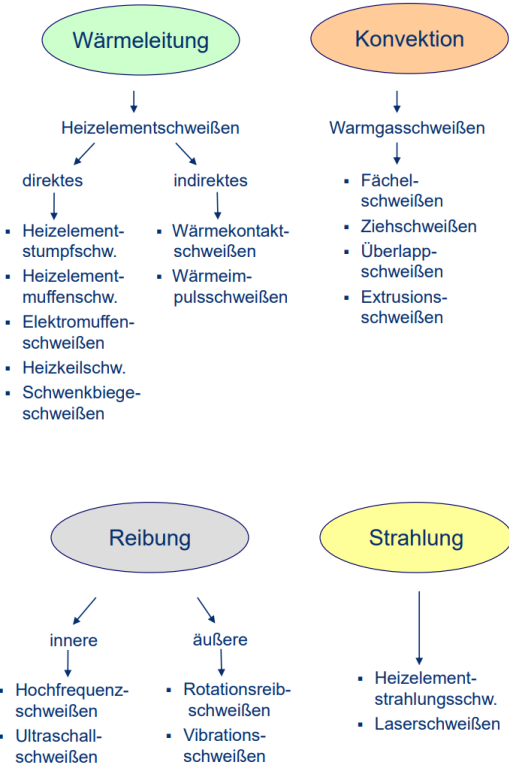
INHALT

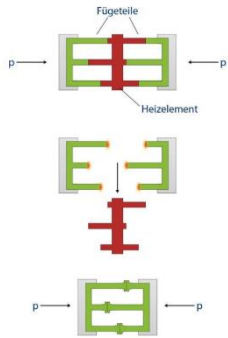
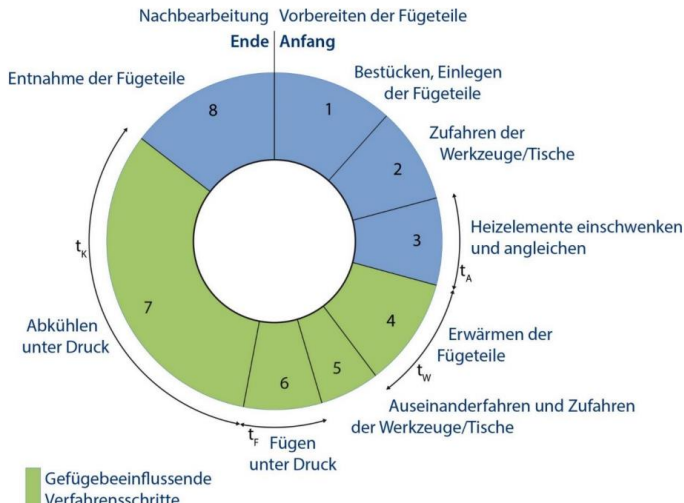
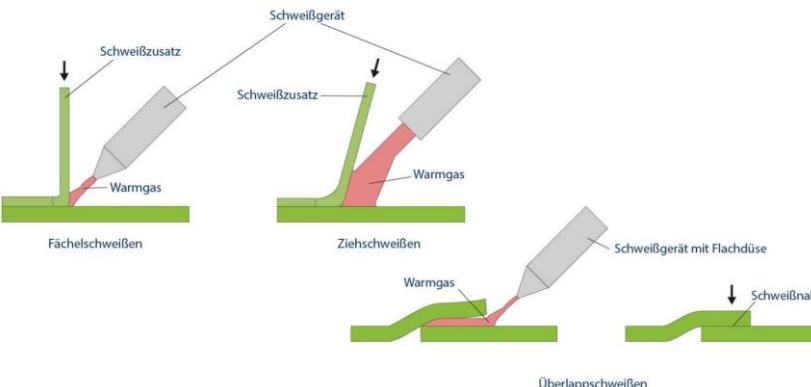
Definiere Umformen.	· Fertigen durch bildsames (plastisches) Ändern der Form eines festen Körpers; dabei werden sowohl die Masse als auch der Zusammenhalt beibehalten.“
Welches ist das bedeutendste Umformverfahren in der Kunststoffverarbeitung?	· Thermoformen (auch Warmumformen oder Vakuumformen genannt).
Wie läuft Thermoformen ab?	· Beim Thermoformen werden aus flächigen Kunststoffhalbzeugen dreidimensionale Formteile erzeugt. Die Umformung und Ausformung erfolgt mit Druckluft oder auch durch Anlegen eines Vakuums in einem gekühlten Werkzeug.
Welche Schritte werden bei einem stempelunterstützten Negativthermoformprozess durchlaufen?	· Halbzeug einspannen, · Halbzeug erwärmen, · Vorstreckstempel eintauchen, · Formluft einströmen, · Formteil abkühlen, · Formteil entforme 
Wie werden Halbzeuge unterschieden?	· Folien (rollbar, bis ~2,5mm Dicke) · Platten (stapelbar, ab ~2,5mm Dicke)
Was sind für Halbzeuge häufig eingesetzte Thermoplaste?	· PS, PVC, ABS, PC (amorphe Thermoplaste), · PP, PE, PET (teilkristalline Thermoplaste).
Wie werden die Halbzeuge erwärmt?	· Die Halbzeuge werden über Wärmeleitung, Konvektion und/oder Wärmestrahlung bis in den Umformtemperaturbereich hinein erwärmt. · Beispiele: Kontaktheizung (Walzenvorheizung) Konvektionsofen (Vorheizung) Strahlungsheizung (Keramikstrahler) (oft)

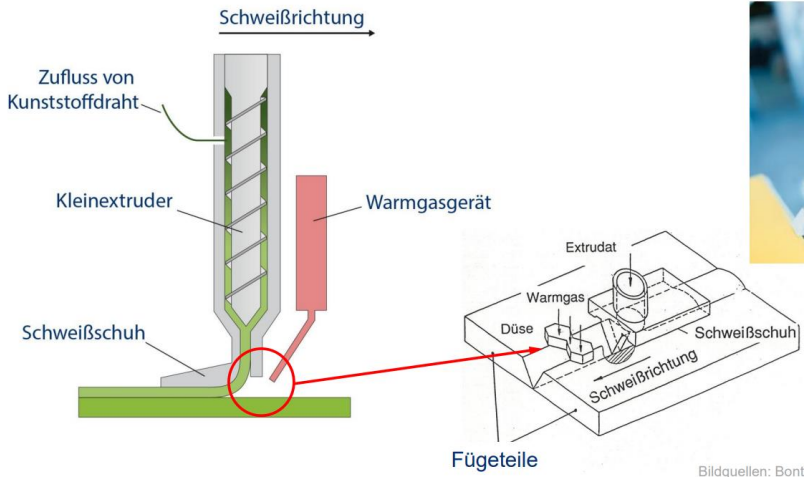
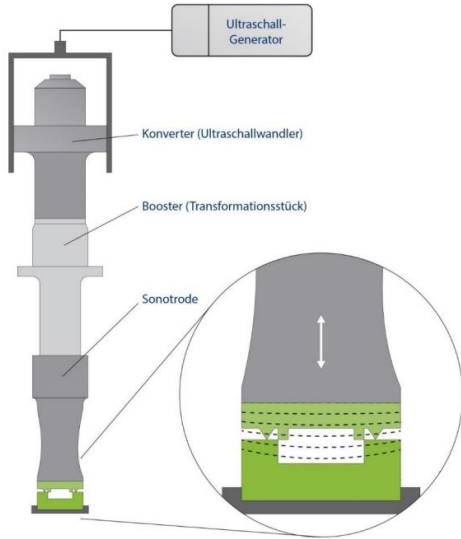
Wo liegt der Umformtemperaturbereich bei amorphen Thermoplasten?	
Wie erfolgt die Formgebung beim Thermoformen?	· zumeist einseitig, wobei eine ungleichmäßige Wanddickenverteilung im Formteil entsteht. Negativformung  maßgetreue Außenseite „schöne“ Innenseite Positivformung  maßgetreue Innenseite „schöne“ Außenseite · (Bei tiefen Negativformen: Stempel ist nötig, Vakuum reicht nicht)
Wann ist ein Vorstrecken des Halbzeugs notwendig?	· Bei Formteilen mit hohen Verstreckgraden (z. B. Becher) ist vor der Ausformung ein Vorstrecken des Halbzeugs notwendig.
Welche Formen von Vorstrecken gibt es?	mechanisches Vorstrecken (Stempel)  pneumatisches Vorstrecken (Vorblasen)  · Durch das Vorstrecken der Halbzeuge kann die Wanddickenverteilung beeinflusst und Dünnstellen vermieden werden. Dadurch werden höhere Verstreckgrade erreicht.
Weshalb können Formfehler beim Thermoformen auftreten? Welche Formfehler treten auf?	· Ein variierender Extrusionsprozess führt zu inhomogenen Halbzeugeigenschaften (z. B. unterschiedliche Orientierungen quer und längs zur Extrusionsrichtung). - inhomogene Deformation - Faltenbildung - Durchhang - geringe Verstreckgrade - Einreißen des Halbzeuges - Oberflächenrisse - Materialverfärbungen
Was sind Einstationenmaschinen? Wofür werden sie eingesetzt?	· Erwärmung und Formgebung finden in derselben Station statt. · Die einzelnen Verfahrensschritte Einlegen, Aufheizen, Umformen usw. addieren sich zur Gesamtzykluszeit. · Einstationenmaschinen sind in der Regel „Plattenautomaten“. · eignen sich für Artikel, die - in kleineren und mittleren Losgrößen benötigt werden, - schnelle Farbwechsel (durch Einsatz anders eingefärbter Platten) erfordern oder - besonders großflächig sind.

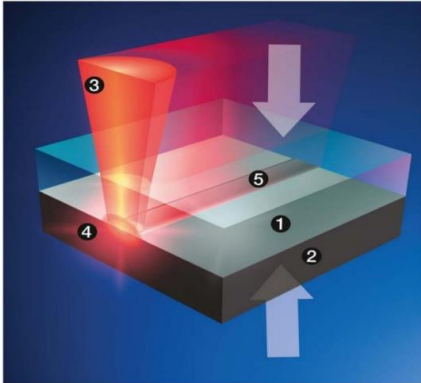
Was sind Mehrstationenmaschinen? Wofür werden sie eingesetzt?	· Erwärmung und Formgebung finden direkt hintereinander in getrennten Stationen statt. Die Taktzeit wird in der Regel durch die Abkühlphase bestimmt · Mehrstationenmaschinen sind in der Regel „Rollautomaten“, d. h. es werden gerollte Halbzeuge verarbeitet · Mit ihnen werden Artikel hergestellt, die - in mittleren bis sehr hohen Stückzahlen benötigt werden und - geringflächig sind. · Typische Formteile: Joghurtbecher, Trinkbecher, Früchteschalen, Pralinen-Trays · Bei der Produktion hoher Stückzahlen ist das Vorschalten eines Extruders vor die Thermoformanlage möglich (Inline-Produktion). · Nachteil von Inline: Wenn eine Heizung, .. ausfällt, steht die ganze Anlage
Entformen und Ausstanzen beim Thermoformen	· Nach der Entformung müssen die Formteile ausgestanzt oder ausgesägt werden. Übrig bleibt ein Stanzgitter. · Stanzgitter können zerkleinert und weiterverarbeitet werden (z. B. als Rezyklat dem Halbzeugherstellungsprozess wieder zugeführt werden).
Nenne die Vorteile bei der Herstellung technischer Teile durch Thermoformen.	· hohe Teilemasse (bis 125 kg), · große Formteile (bis 4 m²), · flexible Wanddicken (0,05 – 16 mm) durch Wechsel des Halbzeugs, · auch kostengünstig bei kleinen Stückzahlen (geringe Werkzeugkosten), · geringe Änderungskosten, z. B. Farbwechselkosten, · homogene Mehrschichtverbunde können eingesetzt werden.
Nenne die Nachteile bei der Herstellung technischer Teile durch Thermoformen.	· wenig Gestaltungsmöglichkeit (kaum Hinterschnitte, Ziehtiefe begrenzt, keine Rippen, keine Schraubdome, ...), · keine gleichmäßige Wanddickenverteilung, · schwierige Temperaturführung, besonders bei dickeren Halbzeugen, · bei zugekauftem Halbzeug: kaum Einflussnahme des Thermoformers auf die Qualität der Halbzeuge möglich.
Nenne die Vorteile bei der Herstellung von Verpackungsteilen durch Thermoformen.	· äußerst geringe Taktzeiten möglich, · In-Mould-Labeling direkt in der Form möglich
Nenne die Nachteile bei der Herstellung von Verpackungsteilen durch Thermoformen.	· wenig Gestaltungsmöglichkeiten (kaum Hinterschnitte, Ziehtiefe begrenzt, keine Rippen, keine Schraubdome, ...), · keine gleichmäßige Wanddickenverteilung, · schwierige Temperaturführung, · bei zugekauftem Halbzeug: kaum Einflussnahme des Thermoformers auf die Qualität der Halbzeuge möglich.
Beschreibe die Funktionsintegration beim Thermoformen durch 3D-Druckverfahren	· Problemstellung: Im Thermoformprozess können zum aktuellen Stand der Technik keine Funktionselemente (z. B. Rippen, Schraubdome etc.) an das Bauteil angebracht werden, wodurch die Funktionsintegration im Vergleich zum Spritzgießen eingeschränkt ist. · Lösungsweg: Kombierter Thermoform- und 3D-Druck-Prozess zur Inline-Anbringung von Funktionselementen nach dem Umformprozess. Dabei werden die nötigen Filamente für den 3D-Druck in einem geschlossenen Produktionskreislauf durch Recycling des Randbeschnitts hergestellt.
Beschreibe das Thermoformen mit integrierten Gestaltelementen	· Lösungsweg: Kombierter Thermoform- und Schweißprozess zur Anbringung von Gestalt- bzw. Funktionselementen während des Umformprozesses. Dies erfolgt durch die Einbringung und lokale Erwärmung sowie gleichzeitige Umformung eines Einlegers innerhalb des Thermoformwerkzeugs.

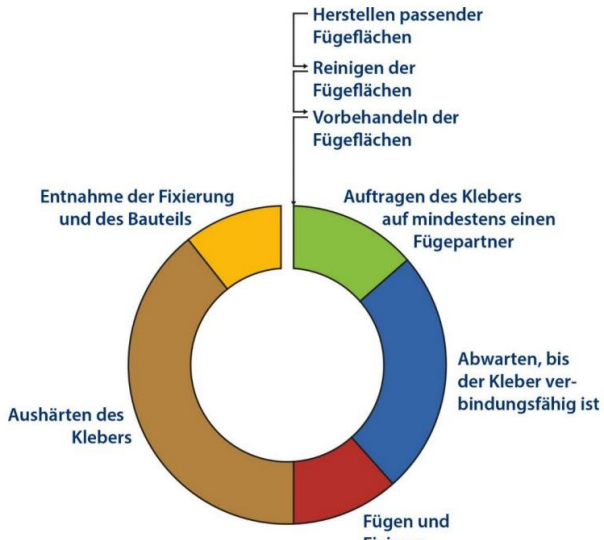
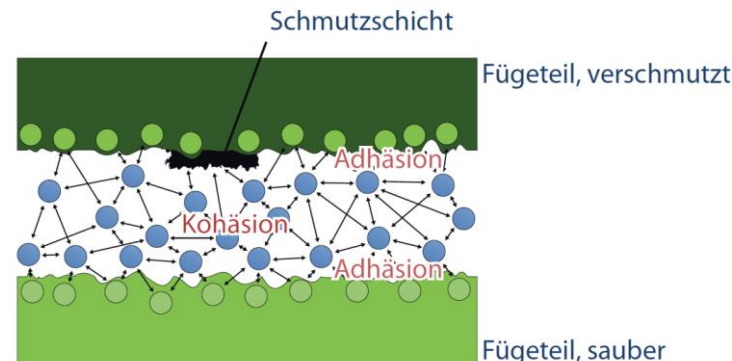
	
Nenne Beispiele für die mechanische (spanende) Bearbeitung von Kunststoffteilen	· Zuschneiden von Halbzeugen (z. B. für das Thermoformverfahren), · Nachbearbeitung von Formteilen (z. B. Entgraten, Bohren), · Herstellung massiver Bauteile (z. B. Modellbau, Zahnräder) oder · Herstellung von Prüfkörpern (z. B. für die Schadensanalyse).
Nenne Besonderheiten im Vergleich zur mechanischen Bearbeitung von Metallen.	· Eigenspannungen im Halbzeug können während der Bearbeitung zu Verzug führen, · Häufig Kühlung notwendig, um ein Aufschmelzen und Schmieren zu vermeiden, · Erreichbare Form- und Maßtoleranzen sind im Vergleich zu den Metallen größer und müssen an den jeweiligen Werkstoff angepasst werden.
Nenne mechanische Bearbeitungsverfahren, bekannt aus der Holz- und Metallbearbeitung.	· Sägen, · Fräsen, · Schleifen, · Polieren, · Bohren, · Drehen.
Definiere Schweißen.	· Unter Schweißen versteht man (gemäß EN 14610 und DIN 1910) das unlösbare Verbinden von Bauteilen unter Anwendung von Wärme und/oder Druck, mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoffe.  · Der Fügevorgang lässt die Moleküle der Fügepartner „ineinander wirken“ und dann erstarren.
Was sind die Voraussetzungen für das Fügen durch Schweißen?	 · Schmelzbare Kunststoffe im thermoplastischen Zustand. Bei ungleicher Werkstoffpaarung ist die Schweißbarkeit zu prüfen.
Nenne allgemeine Merkmale für das Fügen durch Schweißen?	· Manche unterschiedlichen amorphen Thermoplaste sind untereinander gut schweißbar. Die sperrigen Substituenten der amorphen Makromoleküle unterbinden auch hier eine Kristallisation, so dass die Kräfte allein über hinreichende Verschlaufungen über die Grenzfläche übertragen werden.

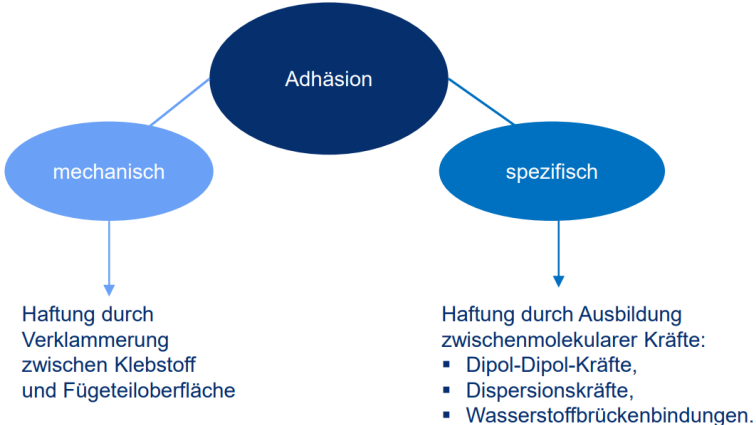
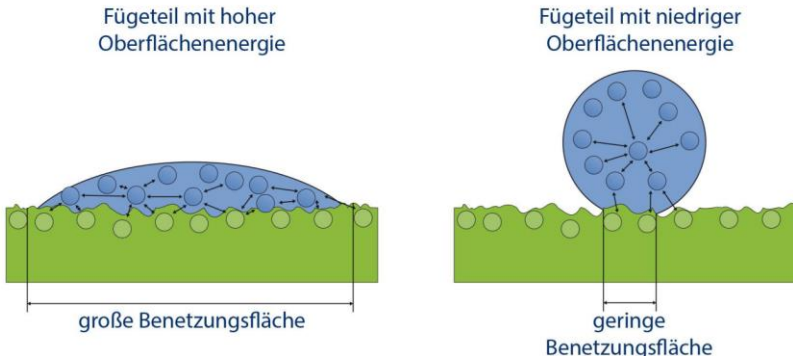
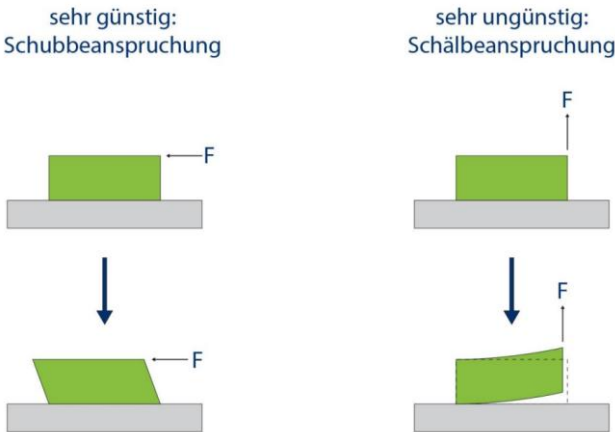
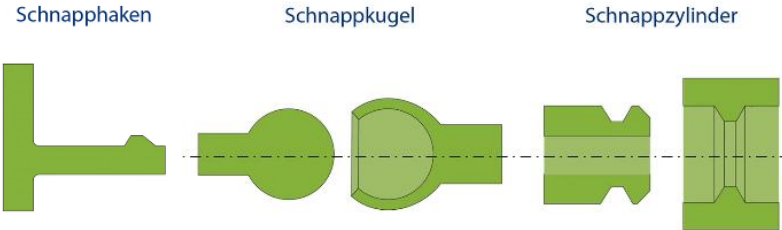
	- Die Makromoleküle unterschiedlicher teilkristalliner Thermoplaste können in der Regel nicht miteinander kristallisieren, so dass sie sich entmischen und somit nicht miteinander schweißbar sind. - Der Fügevorgang lässt gleichartige amorphe Moleküle der Fügepartner ver"knäulen" und gemeinsam erstarren. (genügend Verschlaufungen!) - Bei teilkristallinen Thermoplasten ist die Kristallisation über die Grenzfläche hinweg wichtig. - Die Strukturen der Schweißpartner werden aufgrund der lokalen Schmelzeerzeugung, deren Bewegung und Abkühlung auch lokal verändert. - Es entstehen hier lokal Eigenspannungen, welche die zusätzliche Kraftübertragung verringern sowie Orientierungen, die ähnlich wie Bindenähte ungünstig ausgerichtet sein können. - Zudem wirken Kerben der Schweißwulste lokal spannungsüberhöhend und können ebenfalls der Kraftübertragung abträglich sein. - Merke! Die Fasern von verstärkten Kunststoffen gelangen beim Schweißen nicht über die Grenzfläche, so sind Schweißnähte faserverstärkter Thermoplaste eine besondere Schwachstelle.
Zeichne die Einteilung nach Wärmeübertragung auf.	 <pre> graph TD WL[Wärmeleitung] --> HES[Heizelementschweißen] HES --> D[direktes] HES --> I[indirektes] D --> D_List[Heizelementstumpfschw., Heizelementmuffenschw., Elektromuffenschweißen, Heizkeilschw., Schwenkbiegeschweißen] I --> I_List[Wärmekontaktschweißen, Wärmeimpulsschweißen] K[Konvektion] --> WGS[Warmgasschweißen] WGS --> K_List[Fächelschweißen, Ziehschweißen, Überlappschweißen, Extrusionsschweißen] R[Reibung] --> In[innere] R --> Au[äußere] In --> In_List[Hochfrequenzschweißen, Ultraschallschweißen] Au --> Au_List[Rotationsreibschweißen, Vibrationschweißen] S[Strahlung] --> S_List[Heizelementstrahlungsschw., Laserschweißen] </pre> (nicht richtig können!)

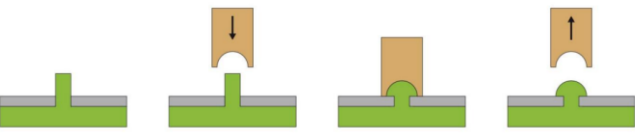
Wie läuft das Heizelementschweißen ab?	• Angleichen von Unebenheiten und Erwärmen (Plastifizieren) der Fügeteile • Umstellen (Entfernen des Heizelements) • Fügen (Schweißen der plastifizierten Fügeflächen unter Fügedruck) und Abkühlen der Fügeteile 
Nenne Vor- und Nachteile von Heizelementschweißen.	• + Hohe Schweißnahtgüte erreichbar • + Sehr prozesssicheres Verfahren • + Fügeflächen in allen drei Dimensionen möglich • + Kleine und große Bauteile schweißbar • + Leichter Bauteilverzug ist ausgleichbar • - Anhaftungen am Heizelement können zu undefinierbaren Schweißnahtfestigkeiten führen • - hohe Zykluszeit (Faustformel: Erwärmzeit 10 s/mm, Kühlzeit 5 s/mm Wanddicke)
Zeichne die Verfahrensschritte des Heizelementschweißens auf.	
Wie läuft Warmgasschweißen ab?	

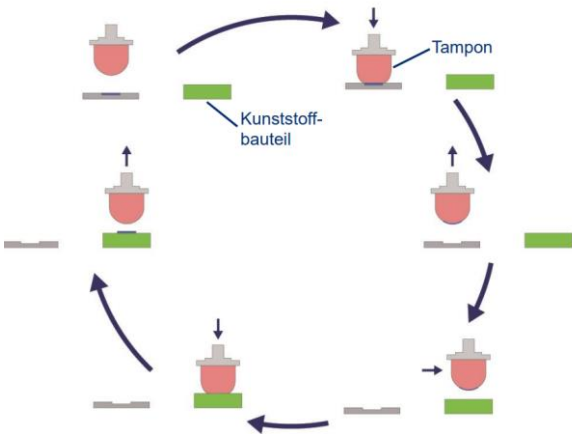
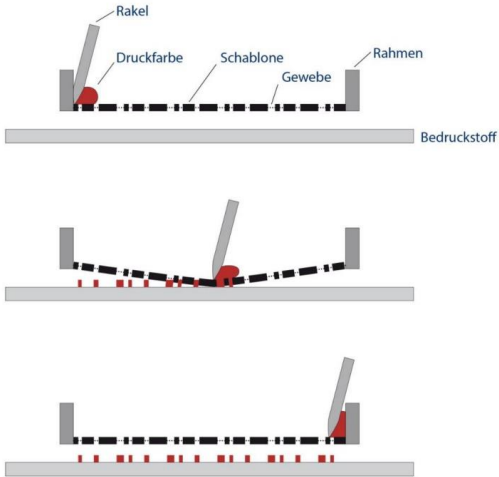
Wie läuft Warmgas-Extrusionsschweißen ab?	 (Bsp: Deponieabdichtung/Folien von einem Teich/Rohrleitungs- und Behälterbau) Bildquellen: Bont
Wie läuft das Ultraschallschweißen ab?	• Schallenergie wird durch ein Transformationsstück über eine Sonotrode in die Fügeebene eingebracht. • Durch innere Dämpfung wird der eindringende Schall in Wärme umgewandelt und das obere Füge teil angeschmolzen  • (Bsp: Masken)
Nenne Vor- und Nachteile des Ultraschallschweißens.	• + Schnelle Wärmeeinbringung • + Fügeteile werden minimal thermisch belastet • - Schlechte Kraftübertragung • - Limitierte Schweißnahtfläche • - Werkstoffauswahl eingeschränkt (benötigt ausreichende innere Dämpfung $\tan \delta$)
Was ist das Vibrationsschweißen?	• Die Fügeteile werden durch Reibbewegung erwärmt und plastifiziert. Dazu sind steife Fügeebenen erforderlich. • Linear: - 2,5-dimensionale Fügeflächen möglich - Einfachere Maschinentechnik gegenüber biaxialem Vibrationsschweißen • Biaxial: - 2-dimensionale Fügeflächen möglich - Kürzere Zykluszeiten gegenüber linearem Vibrationsschweißen
Beschreibe den Verfahrensablauf des Laserschweißens.	• Energie wird durch einen für die Laserstrahlung transparenten Fügepartner (1) direkt in die Fügeebene (2) eingebracht.

	· Durch Absorption der Laserstrahlung (3) wird das absorbierende Fügeteil aufgeschmolzen (4). Das transparente Fügeteil wird dann durch Wärmeleitung aufgeschmolzen (5). · Spezielle Pigmente erzeugen unterschiedliches Absorptionsverhalten 
Nenne Vor- und Nachteile des Laserschweißens.	· + präzise Wärmeeinbringung (Schweißen filigraner Bauteile) · + Fügeteile werden minimal thermisch und mechanisch belastet · + berührungslos (keine Kontamination) · + schonend · - Kunststoffe müssen für das Laserschweißen „konfektioniert“ werden.
Definiere Kleben	· Kleben ist eine feste und dauerhafte Oberflächenverbindung: DIN 2304: „nicht lösbares Verbinden/Fügen zwischen verschiedenen oder gleichen Werkstoffen/Materialien“. · Das Verbinden/Fügen geschieht oft mithilfe eines Klebstoffes, welcher auf die Werkstoffe/Materialien aufgetragen oder zwischen ihnen eingebracht wird. · Kleben kann man mit wenigen Ausnahmen alle Kunststoffe, d. h. neben Thermoplasten können auch Elastomere und Duromere geklebt werden (hingegen: nur Thermoplaste sind schweißbar!) · Ein Klebstoff ist (nach DIN 2304) ein nicht-metallischer, flüssiger, plastischer oder fester Stoff, der Fügeteile unterschiedlicher oder gleicher Materialien durch Flächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion) (...) miteinander verbinden kann. · Der Begriff „Vulkanisation“ wird bei der Nachvernetzung von Elastomeren über die zu klebende Grenzfläche verwendet. Es handelt sich also im Normsinne um keine Klebung, sondern um eine Änderung der Stoffeigenschaften.
Nenne Vor- und Nachteile von Kleben.	· + Kann zusätzliche Aufgaben erfüllen (Abdichten, Überbrücken von Unebenheiten, Schwingungsdämpfung, thermische oder elektrische Isolation) · + Gute Flächenausnutzung · + Verzugsausgleich in Grenzen möglich · - Verbindung sollte nur auf Scherung belastet werden · - Aufwendige Vorbereitung der Fügeflächen · - Einige Kunststoffe sind schwer klebbar (PE, PP, PA,...) · - Aushärten oft sehr zeitaufwändig

Zeichne die Verfahrensschritte des Klebens auf.	 Ein Klebstoff muss zunächst in flüssiger Form vorliegen, um in alle Zwischenräume zu gelangen und dann zu erstarren/abzudampfen.
Wie können Kleber eingeteilt werden?	· Physikalisch abbindend (Erstarrung durch Abkühlen bzw. Abdampfen eines Lösungsmittels): - Dispersionsklebstoff (UHU®), - Schmelzklebstoff, - Kontaktklebstoff (Pattex®), - Lösungsmittelklebstoff. · Chemisch abbindend (Erstarrung durch Bildung chemischer Bindungen / Netzstruktur): - Polymerisationsklebstoff (1K und 2K), - Polyadditionsklebstoff, - Polykondensationsklebstoff (1K und 2K),
Kann man im Winter mit Sekundenkleber draußen was kleben?	· Besser nicht → Luft ist sehr trocken, Sekundenkleber braucht Feuchte
Zeichne die Adhäsion und Kohäsion beim Kleben ein.	· Adhäsion (Nebenvaleanzkräfte) + Kohäsion (Hauptvalenzkräfte) 

Wie kann die Adhäsion unterteilt werden?	 <pre> graph TD A(Adhäsion) --> B(mechanisch) A --> C(spezifisch) B --> D[Haftung durch Verklammerung zwischen Klebstoff und Fügeiteiloberfläche] C --> E[Haftung durch Ausbildung zwischenmolekularer Kräfte: ▪ Dipol-Dipol-Kräfte, ▪ Dispersionskräfte, ▪ Wasserstoffbrückenbindungen.] </pre>
Zeichne den Einfluss der Oberflächenenergie auf.	 Fügeiteil mit hoher Oberflächenenergie große Benetzungsfläche Fügeiteil mit niedriger Oberflächenenergie geringe Benetzungsfläche
Welche Beanspruchung von Klebeverbindungen ist günstig?	 sehr günstig: Schubbeanspruchung sehr ungünstig: Schälbeanspruchung
Nenne verschiedene Grundformen der Schnappverbindungen.	 Schnapphaken Schnappkugel Schnappzylinder
Beschreibe Schnappverbindungen.	• zählen zu den formschlüssigen Füge- und Verbindungsverfahren, • ermöglichen das Fügen unterschiedlicher Werkstoffe, • ermöglichen eine äußerst einfache, rasche und kostengünstige Montage, • ersetzen konventionelle Fügeverfahren wie Schrauben, Kleben und Schweißen, • können direkt in das Bauteil integriert werden, • sparen Kosten, da Fügemitte und Apparate reduziert werden und • lassen sich in ihrer Gestalt variieren: individuelle Anpassung an die Aufgabe, lös- und unlösbare Verbindungen sind konstruierbar.

Wie werden Schrauben bei Kunststoffen hineinkonstruiert?	 Blechschrauben: kostengünstig, aber scharfe Flanken (Kerbwirkung) → kunststoffgerechte Schrauben
Beschreibe den Nietvorgang.	• Das Nieten von Kunststoffen untereinander oder mit anderen Werkstoffen ist ein formschlüssiger Vorgang. • Der Nietimpuls der Maschine muss der Zähigkeit (Energieaufnahmefähigkeit) des Kunststoffes bzw. der Bauteilstruktur angepasst sein. • Falls einer der Fügepartner ein thermoplastischer Kunststoff ist, kann das Ende des thermoplastischen Zapfens vor dem Nieten durch Wärmeeinbringung (z. B. Kontakt oder Ultraschall) relativ kraftarm plastisch zu einem Nietkopf umgeformt werden. • Sollen Bauteile mit Nieten gefügt werden, so wird stets eine Seite der Fügepartner optisch beeinflusst werden. • Es gilt zu beachten, dass sich die Verbindung beim Fügen durch Nieten mit der Zeit lockern kann und Bewegungen möglich werden 
Definiere Beschichten.	• Um lokal veränderte Oberflächeneigenschaften zu erzielen, existieren unterschiedliche Beschichtungsverfahren.
Was sind bedeutende Beschichtungsverfahren?	• Bedampfen, • Galvanisieren, • Lackieren, • Bedrucken, • Kaschieren und • Beflocken
Welche Vakuumbeschichtungsverfahren gibt es? (Bedampfen)	• PVD-Verfahren (Physical Vapour Deposition): Beschichtungssubstanz wird durch Energiezufuhr verdampft. • CVD-Verfahren (Chemical Vapour Deposition): Beschichtungssubstanz wird durch eine chemische Reaktion aus der Gasphase abgeschieden.
Wofür wird Bedampfen angewandt?	• Verbesserte Benetzung von Oberflächen • Kunststoffteile können durch abgeschiedenen Metaldampf elektrisch leitfähig, aber auch permeationsdicht gemacht werden. • Verbesserung der Kratzfestigkeit und der Barrierewirkung durch z.B. SiO₂ (Glas) bei Erhalt der Transparenz.
Wofür wird Beschichten eingesetzt?	• Kratzfestigkeit • Barrierewirkung • Benetzung (Durch entsprechende Beschichtungen kann die Oberflächenspannung auf Bauteilen erheblich beeinflusst werden (z. B. für Motorradhelm).) • Galvanisieren von Kunststoffen • Lackieren

Wie läuft Galvanisieren von Kunststoffen ab?	
Wozu dient das Lackieren?	· Farbgestaltung · der Steigerung der Kratzfestigkeit polymerer Oberflächen und · als Barrierschicht (sehr teuer! Lackierkosten = Spritzgießkosten)
Beschreibe das Tampondruckverfahren.	 · indirektes Tiefdruckverfahren · Die ebene Platte (Klischee) mit Vertiefungen wird mit Farbe gefüllt. · Aufnehmen und Aufdrucken der Farbe über elastischen, dehnfähigen Stempel (Tampon) aus Siliziumelastomer (farbabweisend)
Beschreibe das Siebdruckverfahren.	 · Aufbringen der Farbe über Elastomerrakel durch feinmaschiges Gewebe. · Motiv entsteht durch Schablone (farbundurchlässig) auf dem Gewebe.
Was ist beim Lackieren und Bedrucken aufgrund der Polarität zu beachten?	· Vorbehandeln der Oberflächen notwendig: - Säubern von Verunreinigungen und Oxidationsschichten. - Verbesserung der Oberflächenstruktur und evtl. der Polarität. · Modifizierung der Oberflächen über - chemische Verfahren (z. B. Beizen) oder - physikalische Verfahren (z. B. Beflammen, Niederdruckplasma).

Welches ist kein Verfahrensschritt beim Thermoformen?	a. Halbzeug einspannen b. Stempel eintauchen c. Heizelement einschwenken d. Formteil entformen (c)
Welche Aussage in Bezug auf das Laserschweißen ist richtig?	a. Kunststoffe müssen für das Laserschweißen konfektioniert werden b. Es erfolgt eine starke thermische Belastung des Fügeteils c. Beim Laserschweißen erfolgt eine flächige Wärmeeinbringung d. Es erfolgt eine starke mechanische Belastung des Fügeteils (a)
Welche Aussage zum Kleben ist korrekt?	a. Es können alle Kunststoffe gut geklebt werden. b. Die Oberflächen der Fügepartner müssen vorbereitet (z. B. gereinigt) werden. c. Nur Thermoplaste können geklebt werden. d. Eine Klebeverbindung ist ggü. Schmelzeabkühlung schneller (b)
Was ist nicht zur mechanischen Verbindung zweier Bauteile geeignet?	a. Schnapphaken b. Schnappkonus c. Schnappkugel d. Schnappzylinder (b)
Welche Eigenschaft eines Kunststoffbauteils kann durch die Beschichtung der Oberfläche verbessert werden?	a. Dichte b. Wärmekapazität c. elektrische Leitfähigkeit d. Dehnfähigkeit (x)

LERNSTOPP

Mit welchem Verfahren wurde der linke, mit welchem der rechte Becher hergestellt? Begründen Sie Ihre Antwort kurz. 	- Links: <i>Thermoformen, da keine Hinterschnitte (Grundsätzlich wäre jedoch auch Spritzgießen möglich)</i> - Rechts: <i>Spritzgießen, da Hinterschnitte nicht im Thermoformen herstellbar</i>
Nach welchen vier Wärmeübertragungsarten lassen sich Schweißverfahren für Kunststoffbauteile einteilen? Geben Sie jeweils ein Beispielverfahren an.	<i>Wärmeleitung: Heizelementschweißen; Konvektion: Warmgasschweißen; Reibung: Ultraschallschweißen; Wärmestrahlung: Laserstrahlschweißen.</i>

Erläutern Sie kurz anhand geeigneter Skizzen den Unterschied zwischen mechanischer und spezifischer Adhäsion.

- **Mechanische Adhäsion:** Haftung durch Verklammerung zwischen Klebstoff und Fügeiteiloberfläche
- **Spezifische Adhäsion:** Haftung durch Ausbildung zwischenmolekularer Kräfte z. B. Dipolkräfte, Dispersionskräfte, Wasserstoffbrückenbindungen

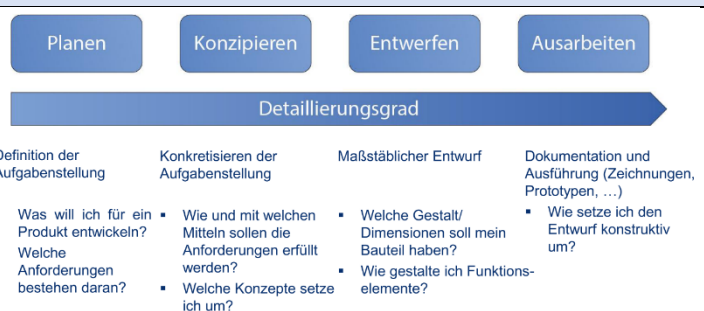


VORLESUNG 8

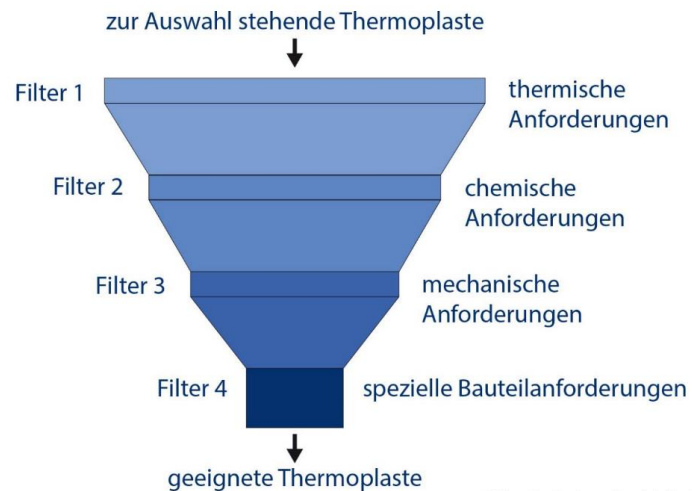
EINFÜHRUNG IN DAS KONSTRUIEREN MIT KUNSTSTOFFEN

INHALT

Was sind die Phasen der Produktentwicklung (VDI-Richtlinie 2222)?



Wie wird der geeignete Werkstoff ausgewählt?



→ Onlinedatenbank

Welche Möglichkeiten zur Nutzung der Gestaltungsfreiheit gibt es?

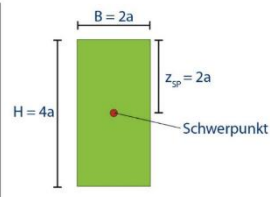
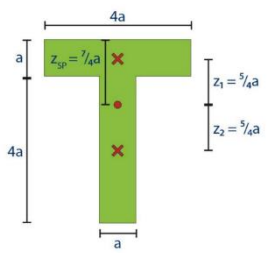
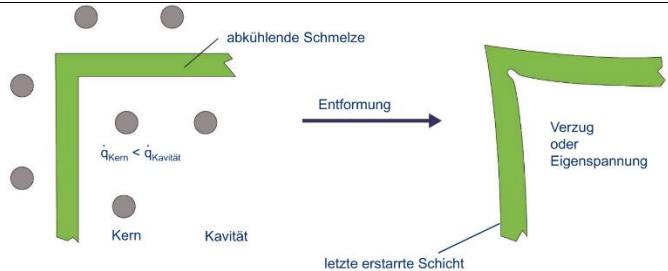
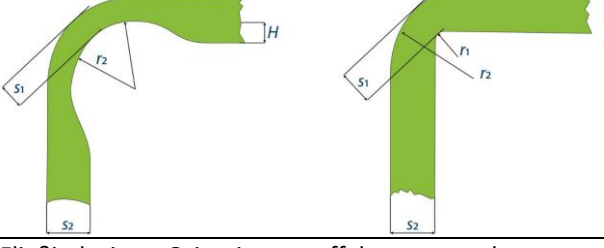
- Integration von Funktionselementen
- Erhöhung des Flächenträgheitsmoments

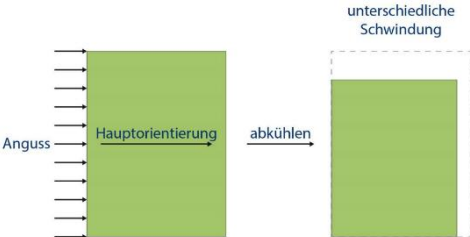
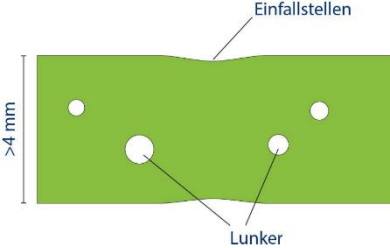
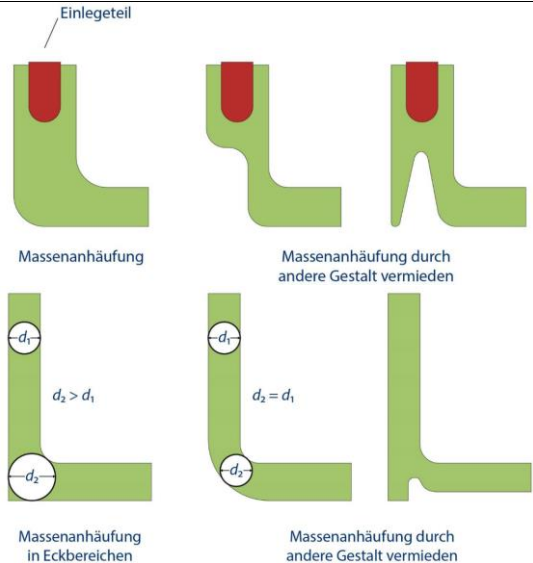
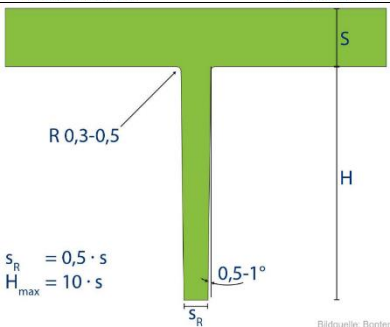
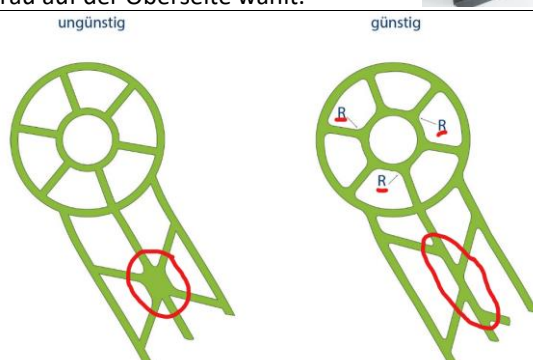
Nenne Beispiele für die Integration von Funktionselementen.

- Gehäusehälfte eines Bandschleifers mit Kabelführung, Schraubdome, Motor- und Getriebepositionierung
- Schnappverschlüsse ermöglichen die kostengünstige und montagefreundliche Verbindung von Anbauteilen.
- Gespritzte Gelenke: einfaches Trennen der Komponenten und keine Materialverunreinigung beim Recycling
- Zweiteilige CD-Hülle mit Schappscharnier (PS)
- Einteilige CD-Hülle mit integriertem Flimscharnier (PP)
- Inserts aus Metall

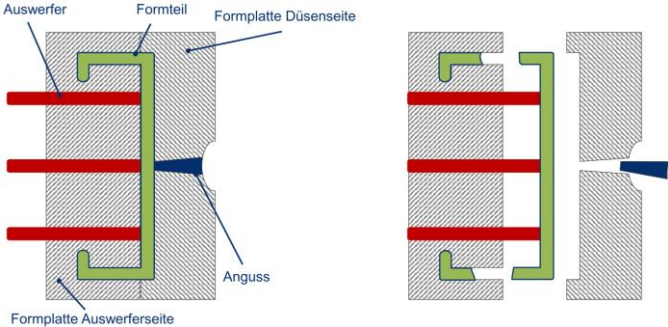
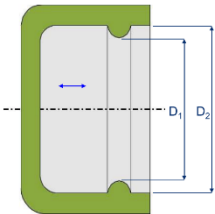
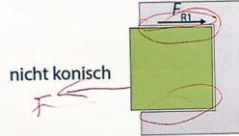
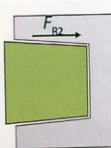
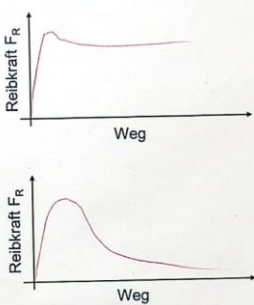
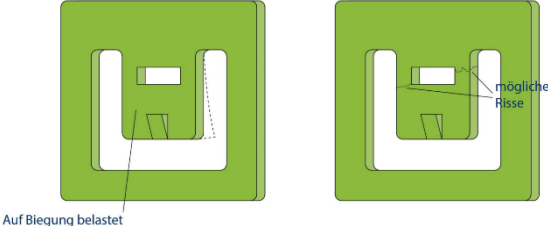
Nenne Beispiele für die Erhöhung des Flächenträgheitsmoments.

- Natürliche „Rippen“ zur Versteifung z.B. bei Blättern, Fledermaus, Mensch
- KFZ-Pedalteil mit Rippen
- Kostengünstiges Stahlblechprofil für Autos, mit Rippen gegen Beulen und Knicken versteift

	- IKT-Träger mit In-situ-Pultrusionsprofilen aus endlosfaserverstärktem PA 6 - Gewölbte Oberflächen oder abgestufte Zonen führen zu höherer Bauteilsteifigkeit.
Mathematische Erklärung des Flächenträgheitsmoments.	 Fläche $A_1 = BH = 8a^2$ Flächenträgheitsmomente $I_{y_1} = \frac{1}{12} \cdot 2a \cdot (4a)^3 = 10\frac{2}{3}a^4$  Fläche $A_2 = 2 \cdot (4a \cdot a) = 8a^2 = A_1$ Flächenträgheitsmomente $I_{y_2} = \frac{1}{12} \cdot 4a \cdot a^3 + \frac{1}{12} \cdot a \cdot (4a)^3 + z_1^2 \cdot 4a^2 + z_2^2 \cdot 4a^2 = 18\frac{1}{6}a^4 > I_{y_1}$ Steiner-Anteile I_{y_2} ist mit $(18+1/6) \cdot a^4$ ca. 70% größer als I_{y_1} mit $(10+2/3) \cdot a^4$
Wie erhöht sich das Flächenträgheitsmoment durch Rippen?	Das Flächenträgheitsmoment eines Bauteils erhöht sich mit steigendem Abstand des Schwerpunkts zur Drehachse („Steiner-Anteil“). - höhere Bauteilsteifigkeit in Bezug auf das Bauteilgewicht im Vergleich zu einem massiven Bauteil - Materialeinsparung bei gleicher Tragfähigkeit - Reduzierung von Gewicht und Kühlzeit  Platte 400 · 400 · 10 Belastung 8 kg Durchbiegung 1,6 mm Gewicht 1680 g Kühlzeit 200 s  Platte 400 · 400 · 4 (mit 4 Rippen 30 · 2,7) Belastung 8 kg Durchbiegung 1,6 mm Gewicht 810 g Kühlzeit 50 s
Was sind die Anforderungen an die Konstruktion eines Kunststoffbauteils?	- Werkstoffgerechte Konstruktion - Fertigungsgerechte Konstruktion - Beanspruchungsgerechte Konstruktion
Werkstoffgerechte Konstruktion – Gründe für Bauteilverzug	- Was später erkaltet, steht unter Zugspannung! → Ungleichmäßig verteilte Eigenspannungen bewirken Verzug! - Winkelverzug - Geometrie- und Orientierungseinfluss - Wanddickenunterschiede
Winkelverzug	
Wie kann der Winkelverzug in Ecken gestalterisch verringert werden?	
Orientierung beeinflusst die Schwindung	Fließinduzierte Orientierungseffekte verursachen unterschiedliche Schwindung parallel und senkrecht zur Fließrichtung.

	
Was sind typische Bauteilfehler durch Massenanhäufung?	 Lunker sind querschnittsreduzierend, sie sind hier aber nicht so tragisch wie in Metallen.
Wie können Massenanhäufungen vermieden werden?	 Massenanhäufung in Eckbereichen Massenanhäufung durch andere Gestalt vermieden
Was sind die empirisch ermittelten Empfehlungen für Rippendicke und -radius?	 - Entformungsschräge - Radien - Rippe muss dünner als restliches Bauteil sein, damit Rippe zuerst abkühlt (Keine Zahlenwerte auswendig lernen)
Wie können Einfallstellen kaschiert werden?	Man verbirgt die Einfallstellen, die durch die Rippen hervorgerufen wurden, indem man ein Muster aus glatt und rau auf der Oberseite wählt. 
Wie können Rippenkreuzungen vermieden werden?	

Was ist beim Anbringen von Schraubdomen zu beachten?	Durch die Materialanhäufung an Schraubdomen können sich Einfallstellen oder Hohlräume bilden. Schraubdomen sind daher normalerweise freistehend, versteift oder über dünne Rippen mit dem Bauteilrand verbunden, um die Biege- und Torsionssteifigkeit zu erhöhen und das Einschrauben zu erleichtern.
Fertigungsgerechte Konstruktion – Wanddickengestaltung ist stets ein Kompromiss von...	→ Die optimale Gestaltung der Wanddicke unterliegt mehreren, teils widersprüchlichen Kriterien.
Wie hängen Druck und Fließweg zusammen?	→ Lange Fließwege erfordern hohen Druck
Was wird vom Verarbeitungsprozess beeinflusst?	- Durch die Verarbeitungsprozesse werden die inneren Eigenschaften verändert (bei Schmelzfluss und Erstarrungsvorgang). - Durch das Erfassen des Verarbeitungseinflusses auf die inneren Eigenschaften kann der Einfluss der Verarbeitung auf die Bauteileigenschaften gezielt genutzt werden. - Im Wesentlichen beeinflusst werden: Eigenspannungen, Orientierungen, Kristallisation
Was sind die Ziele der Füllsimulation zur „virtuellen Produktion“?	- wenig Bindenähte - geeignete Orientierung - gleichlange Fließwege

Hinterschnidungen vermeiden																											
Was ist ein Schiebwerkzeug und warum sollte es vermieden werden?	Mit einem Schieber ist es möglich, Hinterschnidungen zu fertigen. Der Schieber, indem die Hinterschnidung stattfindet fährt beim Auswerfen mit heraus, sodass sich das Bauteil lösen kann: https://procomps.com/animation/ul-2/ Schieber sollten trotzdem vermieden werden, da es das Werkzeug komplizierter und 25.000€ teurer macht.																										
Wie können Hinterschnidungen und Schieber vermieden werden?	Durch intelligentes Umgestalten																										
Wie können Schnappverschlüsse hergestellt werden?	Durch Zwangsentformung bei Hinterschnidungen. Das geht nur bei dehnfähigen Werkstoffen.  <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>Kunststoff</th><th>max. zulässige Dehnung in %</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>PS</td><td>< 0,5</td></tr> <tr><td>PS schlagzäh</td><td>< 1,0</td></tr> <tr><td>ABS</td><td>< 1,5</td></tr> <tr><td>PC</td><td>< 1</td></tr> <tr><td>PA</td><td>< 2</td></tr> <tr><td>POM</td><td>< 2</td></tr> <tr><td>LDPE</td><td>< 5</td></tr> <tr><td>PE</td><td>< 3</td></tr> <tr><td>HDPE</td><td>< 3</td></tr> <tr><td>PVC hart</td><td>< 1</td></tr> <tr><td>PVC weich</td><td>< 10</td></tr> <tr><td>PP</td><td>< 2</td></tr> </tbody> </table>	Kunststoff	max. zulässige Dehnung in %	PS	< 0,5	PS schlagzäh	< 1,0	ABS	< 1,5	PC	< 1	PA	< 2	POM	< 2	LDPE	< 5	PE	< 3	HDPE	< 3	PVC hart	< 1	PVC weich	< 10	PP	< 2
Kunststoff	max. zulässige Dehnung in %																										
PS	< 0,5																										
PS schlagzäh	< 1,0																										
ABS	< 1,5																										
PC	< 1																										
PA	< 2																										
POM	< 2																										
LDPE	< 5																										
PE	< 3																										
HDPE	< 3																										
PVC hart	< 1																										
PVC weich	< 10																										
PP	< 2																										
Wieso sollten Entformungsschrägen vorgesehen werden?	Formschrägen erleichtern den Teileauswurf und verringern Werkzeugverschleiß. nicht konisch  konisch  																										
Was ist der Grundsatz der beanspruchungsgerechten Konstruktion?	Grundsatz: Gleichmäßige Lastverteilung Bei ungünstiger geometrischer Gestaltung kommt es zu ungleichmäßiger Lastverteilung im Bauteil: → lokale Spannungsüberhöhungen → ggf. „notwendige Überdimensionierung“, die bei gleichmäßiger Lastverteilung vermeidbar wäre																										
Wie können Kerbspannungsrisse vermieden werden?																											

Wie können lokale Spannungsspitzen vermieden werden?	
Was sind allgemeine Richtlinien der Produktgestaltung?	

KAHOOT!

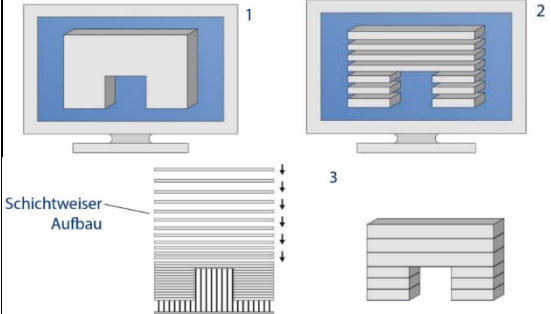
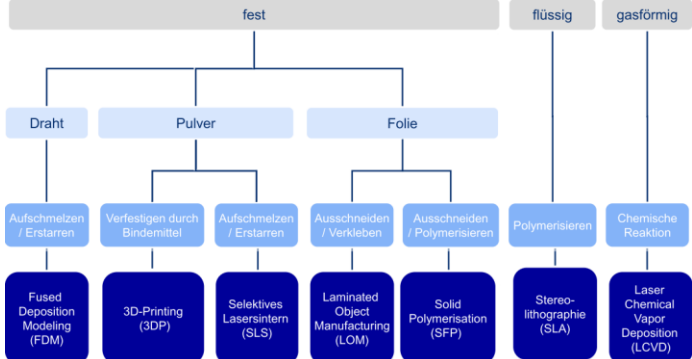
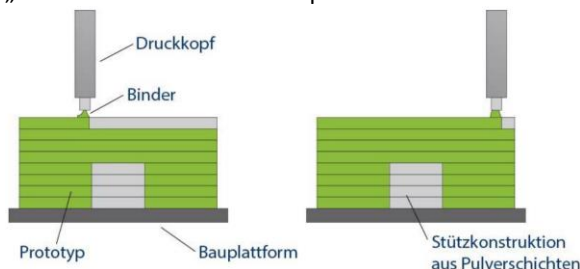
Auf welcher Grundlage beruht die Versteifungsfunktion von Rippen?	a. Massenträgheitsmoment erhöht b. Flächenträgheitsmoment erhöht c. Flächenträgheitsmoment verringert d. Widerstandsmoment verringert (b)
Was ist kein typisches Funktionselement für Kunststoffbauteile?	a. Rippe b. Schraubdom c. Filmscharnier d. Auskernung (d)
Was trägt nicht zum Verzug eines Kunststoffbauteils bei?	a. Inhomogene Werkzeugkühlung b. Gleichmäßige freie Schwindung c. Orientierungseinflüsse d. Unterschiedliche Wanddicken (b)
Welche Aussage trifft bei Schwindung zu?	a. Später erkaltende Bauteilzonen verfügen über geringeres Schwindungspotential b. Die Schwindung ist auch abhängig von der Orientierung c. Wärmere Oberflächen schwinden nach dem Auswurf weniger d. Die auftretende Schwindung ist werkstoffunabhängig

	(b)
Wie können Einfallstellen vermieden werden?	a. Kaschieren der Oberfläche b. Große Radien am Rippenfuß vorsehen c. Lange Kühlzeiten vorsehen d. Rippenkreuzungen vermeiden (d)
Was ist ein typischer Bauteilfehler durch Massenanhäufung?	a. Brenner b. Lunker c. Bindenähte d. Gratbildung (b)
Wofür werden Formschrägen an Bauteilen vorgesehen? Zur ...?	a. Reduzierung von Einfallstellen. b. Versteifung von Bauteilwandungen. c. Reduzierung von Entformungskräften. d. Vermeidung von Lufteinschlüssen. (c)
Was ist kein Ziel der Füllsimulation?	a. Füllzeit und Füllbarkeit ermitteln b. Bindenähte ermitteln c. Kristallinität ermitteln d. Faserorientierung ermitteln (c)

NUTZEN VON PROTOTYPEN

INHALT

Wo werden Prototypen angewandt?	- Prototypen werden in den verschiedenen Phasen der Produktentwicklung eingesetzt. - Designer brauchen Modelle oder Prototypen, um ihre Ideen von der äußeren Gestalt vor den eigenen Augen zu sehen oder mit den eigenen Händen zu fühlen. - Entwickler brauchen für die Konzept- oder Ausarbeitungsphase Prototypen, welche Funktionalitäten aufweisen oder technische Beanspruchungen bereits beweisen müssen.						
Welche Größen haben Einfluss auf die Auswahl des Verarbeitungsverfahrens?	<pre>graph TD; A[Gestalt des Formteils] --> F[Verarbeitungsverfahren]; B[Werkstoff] --> F; C[Stückzahl] --> F; D[Maschinenpark] --> F; E[Belastungen] --> F; G[zulässige Kosten / Stck.] --> F;</pre>						
Wie beeinflusst die Losgröße (Stückzahl) die Auswahl des Verarbeitungsverfahrens?	<table><tr><th>Einzelfertigung</th><th>Kleinserie</th><th>Großserie</th></tr><tr><td> ▪ aus Halbzeugen durch Bearbeitung in handwerklichen Verfahren hergestellt ▪ Rapid Prototyping (Additive Fertigungsverfahren) </td><td> ▪ aus Halbzeugen durch Bearbeitung in NC-gesteuerten industriellen Bearbeitungsverfahren hergestellt ▪ in Prototypwerkzeugen durch Urformverfahren gefertigt (Rapid Tooling) </td><td> ▪ in Stahlwerkzeugen möglichst nachbearbeitungsfrei in kurzen Zyklen urgeformt ▪ hohe Funktionsintegration im Formteil zur Reduzierung von Nachbearbeitung und Montage </td></tr></table> 10⁰ 10¹ 10² 10³ 10⁴ 10⁵ Stück/Jahr 10⁶	Einzelfertigung	Kleinserie	Großserie	▪ aus Halbzeugen durch Bearbeitung in handwerklichen Verfahren hergestellt ▪ Rapid Prototyping (Additive Fertigungsverfahren)	▪ aus Halbzeugen durch Bearbeitung in NC-gesteuerten industriellen Bearbeitungsverfahren hergestellt ▪ in Prototypwerkzeugen durch Urformverfahren gefertigt (Rapid Tooling)	▪ in Stahlwerkzeugen möglichst nachbearbeitungsfrei in kurzen Zyklen urgeformt ▪ hohe Funktionsintegration im Formteil zur Reduzierung von Nachbearbeitung und Montage
Einzelfertigung	Kleinserie	Großserie					
▪ aus Halbzeugen durch Bearbeitung in handwerklichen Verfahren hergestellt ▪ Rapid Prototyping (Additive Fertigungsverfahren)	▪ aus Halbzeugen durch Bearbeitung in NC-gesteuerten industriellen Bearbeitungsverfahren hergestellt ▪ in Prototypwerkzeugen durch Urformverfahren gefertigt (Rapid Tooling)	▪ in Stahlwerkzeugen möglichst nachbearbeitungsfrei in kurzen Zyklen urgeformt ▪ hohe Funktionsintegration im Formteil zur Reduzierung von Nachbearbeitung und Montage					
Definiere Rapid Prototyping.	- Prototypen: „erste Bauteile“ zur Überprüfung von Funktionen - Modelle: eher für die äußere Betrachtung oder Urmodelle für Folgeverfahren wie Vakuumguss oder Feinguss						

Definiere Rapid Tooling.	Schnelle Herstellung von Formen/Werkzeugen, die der Herstellung von Prototypen und Vorserien dienen.
Definiere Rapid Manufacturing.	Begriff wird immer seltener verwendet: Prozesse für rasch realisierbare Produkte mit gewissem Seriencharakter. Heute sagt man eher „Additive Fertigung“.
Wie ist der prinzipielle Ablauf bei der additiven Fertigung?	1. CAD 2. STL-Datei 3. 3D Druck 4. Bauteil  Schichtweiser Aufbau
Wie werden die verschiedenen Rapid Prototyping Verfahren unterschieden?	Vielzahl an Verfahren und Kombinationen  <pre> graph TD Fest[fest] --> Draht[Draht] Fest --> Pulver[Pulver] Fest --> Folie[Folie] Draht --> FDM[Fused Deposition Modeling FDM] Pulver --> 3DP[3D-Printing 3DP] Pulver --> SLS[Selektives Lasersintern SLS] Folie --> LOM[Laminated Object Manufacturing LOM] Folie --> SFP[Solid Polymerisation SFP] Flüssig[flüssig] --> SLA[Stereolithographie SLA] Gasförmig[gasförmig] --> LCVD[Laser Chemical Vapor Deposition LCVD] </pre>
Wie funktioniert das 3D-Printing (3DP)?	Verfestigung eines Pulvers mit Bindemittel: „Tintenstrahldrucker“-Prinzip  Druckkopf Binder Prototyp Bauplattform Stützkonstruktion aus Pulverschichten
Was sind die Eigenschaften von 3DP? (nicht detailliert wissen)	- Basierend auf Patent des MIT (3D-Printing) - Großformatiger Bauraum bis zu 4000 mm x 2000 mm x 1000mm - Lebensmittel wie Nussmehl oder pharmazeutische Wirkstoffe (temperaturempfindlich) druckbar - Binder bestimmt die Bauteileigenschaften - Materialeigenschaften (Binder) kann lokal variiert werden (vgl. Tintenstrahldrucker) - Bauteil muss für Endfestigkeit nachträglich infiltriert werden - Rapid Tooling: Herstellung von Sandgussformen Gängige Materialien: - Materialpalette quasi unbegrenzt - Allein vom Binder abhängig
Wie sind die mechanischen Eigenschaften beim 3DP einzuordnen?	Von den mechanischen Eigenschaften ist das 3D-Printing Verfahren mit das schlechteste.
Was ist ein Vorteil des 3DP?	- Keine Stützstrukturen nötig
Wie funktioniert Stereolithographie (SLA)?	Punktgenaues Aushärten von flüssigem Photopolymer (Monomer) durch Belichtung mit einem UV-Laserstrahl .

	Duomer wird ausgehärtet.
Was sind Eigenschaften von SLA? (nicht detailliert wissen)	- Patent von 1971 - Schichthöhe wird durch die Benetzbarkeit der festen Schicht durch das Monomer beschränkt - Eines der höchstauflösendsten additiven Verfahren (Auflösung in x-y-Richtung abhängig von der Laserfokussierung) - Ausschließlich Verarbeitung von UV-aushärtenden Harzen, meist Nachbelichtung in UV-Kammer notwendig - Bauraumgröße: 450 mm x 450 mm x 350 mm - Anlagenkosten: 200–50.000 € Gängige Materialien: - Acrylat, Epoxidharz, Vinyletherharz
Was sind Nachteile von SLA?	- Man benötigt Stützstrukturen - Es ist ein Duomer → geringe Dehnfähigkeit, hohe Steifigkeit
Was sind Vorteile von SLA?	- höchst präzise Genauigkeit (sehr filigranes Arbeiten möglich)
Wie funktioniert Selektives Lasersintern (SLS)?	Lokales Aufschmelzen von pulverförmigem Ausgangsmaterial durch einen CO₂-Laser (Infrarot-Strahlung). Punkt für Punkt schmilzt der Laser das pulverförmige Ausgangsmaterial auf. Nach dem Auskühlen senkt sich die Trägerplatte ab und der Vorratsbehälter stellt neues pulverförmiges Ausgangsmaterial bereit. Mit der Hilfe des Rakels wird das Ausgangsmaterial neu überstrichen und zugleich fest angedrückt.
Was sind Eigenschaften von SLS? (nicht detailliert wissen)	- Pulverkuchen dient als Stützstruktur - Bauraumgröße: 700 mm x 380 mm x 580 mm - nur 1K-Druck möglich - Anlagenkosten: 5 T€ - 600 T€ - Aufbaugeschwindigkeit ~ 1 cm pro Stunde Gängige Materialien: - PA12(!), PP, PA-PG, TPU, PEKK, PA mit Füllstoffen (Aluminium, Kohlenstofffasern)
Was ist sind Vorteile von SLS?	- Keine Stützstrukturen nötig - sehr gute technische Eigenschaften
Wie funktioniert das Strangablegeverfahren / Fused Deposition Modeling (FDM)?	Ablegen eines heißen Thermoplaststrangs mittels einer durch Plottermechanismus geführten Düse.

Was sind Eigenschaften des FDM? (nicht detailliert wissen)	- Oftmals einfache, kompakte Anlagen (Heimanwender) - Stützkonstruktionen bei Überhängen erforderlich - Bauraumgröße: häufig 200 mm x 200 mm x 200 mm - Anlagenkosten: 200 € –50.000 € Gängige Materialien: - PLA, ABS, PET, PA, PEI - Genannte Thermoplaste mit Füllstoffen (Metallen, Holz, Kurzfasern etc.)
Was sind Nachteile des FDM?	- Man benötigt Stützstrukturen - Überall, also zwischen jeden Strängen, sind Schweißnähte und Kerben - Orientierung aller Fasern sind nur in eine Richtung
Was sind Vorteile des FDM?	- kostengünstig - gute technische Eigenschaften
Wie funktioniert das Tropfenablegeverfahren?	
Was sind Eigenschaften des Tropfenablegeverfahrens?	- Patentierter Austrag von Schmelzetropfen über piezogesteuerte Düse - Verarbeitung von Standardgranulaten (ohne Fasern) - Stützstrukturen erforderlich - Bauraumgröße: 234 mm x 134 mm x 200 mm - Bis zu drei Komponenten - Hart-Weich-Verbindungen mit Stützstruktur möglich Gängige Materialien: - Offenes System, hinterlegte Materialien sind: ABS, PA10, PC (Luftfahrt-zugelassen), TPE-U, PP, PLLA uvm.
Was sind Vorteile des Tropfenablegeverfahrens?	- größere Auswahl an Werkstoffen als bei den anderen Verfahren
Was sind Nachteile des Tropfenablegeverfahrens?	- Man benötigt Stützstrukturen - keine Faserverstärkung möglich
Welches der genannten Verfahren hat die besten technischen Eigenschaften?	SLS

KAHOOT!

Was ist gerade kein Vorteil formloser Formgebung?	a. Beschränkung auf wenige Werkstoffe b. Geringe Korrekturkosten c. Individualität der Produkte d. Hohe Bauteilkomplexität
---	---

(a)

In welcher Form muss das Ausgangsmaterial für das selektive Lasersintern (SLS) vorliegen?	a. Kunststofffilament b. Kunststoffgranulat c. Kunststoffolie d. Kunststoffpulver	(d)
---	--	-----

VORLESUNG 9

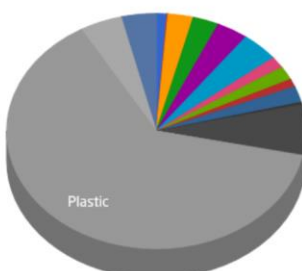
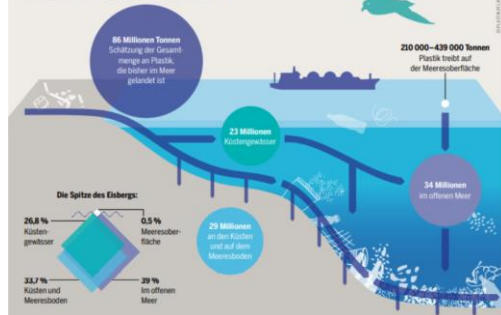
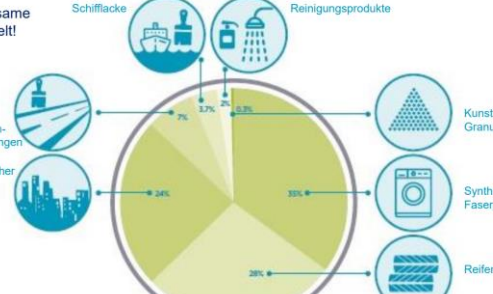
KUNSTSTOFFE UND UMWELT 1 – ABFÄLLE UND GIFTE

INHALT

Welche Abfallrahmenrichtlinie gibt es?	· Europa: Richtlinie 2008/98/EG (Abfallrahmenrichtlinie) · Deutschland: Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG; seit 1996) „Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen“
Welchen Zweck erfüllt das Gesetz?	· Schonung der natürlichen Ressourcen · Regelungen zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen · Trennung und Sortierung von Wertstoffen
Was besagt das Verursacherprinzip?	· Produzenten für Entsorgung verantwortlich. Entsorgungskosten mindern den Gewinn
Wie setzen sich die Haushaltsabfälle in Deutschland zusammen?	Abfälle aus der Biotonne: 13,2% Sperrmüll: 6,8% Garten- und Parkabfälle biologisch abbaubar: 13,6% Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle gemeinsam über die öffentliche Müllabfuhr eingesammelt: 34,3% Sonstige: 5,1% 5,1% Glas 14,5% Papier, Pappe, Kartonagen 7,3% Gemischte Verpackungen, Kunststoffe 4,8% Metalle, Holz, Textilien 0,4% Sonstiges
Definiere werkstoffliches Recycling.	· Beim „werkstofflichen“ Recycling bleiben die Kunststoffe als Material erhalten, d.h. die Makromoleküle bleiben unverändert. In der Regel werden gebrauchte Kunststoffbauteile zerkleinert und in einem Doppelschneckenextruder für den erneuten Einsatz aufbereitet. Bei der Aufbereitung wird ggf. geblendet, additiviert, entgast und die Schmelze im Bedarfsfall auch mit einem Schmelzefilter gereinigt.
Welche Tätigkeiten gehören zum Grünen Punkt (DSD, Duales System Deutschland, 1990, Interessengemeinschaft von Produzenten und Entsorgern)?	· das Sammeln und Verwerten von Verkaufsverpackungen, · das Recyceln von Elektro- und Elektronik-Altgeräten, · das Verwerten von Transportverpackungen, · die Standortentsorgung und · das Pfandclearing.
Wie funktioniert das Duale System Deutschland?	· Die Sammlung, Sortierung und Verwertung von Verkaufsverpackungen werden über Beteiligungsentgelte der Hersteller/Inverkehrbringer je nach Material und Gewicht finanziert: Je geringer das Gewicht der Verpackung, desto niedriger ist das zu zahlende Entgelt. · Verpackungen wurden leichter, überflüssige Umverpackungen wurden weggelassen und schwer trennbare Blisterverpackungen wurden seitdem weniger eingesetzt.

Zeichne die Prozesskette der Verpackungen auf.	Granulat → Verpackung → Abfüller/Verpacker Kunststoffhersteller (Chemiefirma) → Verpackungshersteller (Kunststoffverarbeiter) Macht Vorschlag mit Materialinnovation oder Kosteneinsparung Macht Vorschlag zur Verpackungsinnovation oder Kosteneinsparung Verpacktes Umprodukt → Verpacktes Konsumprodukt → Verpacktes Konsumprodukt Markenartikler oder Eigenmarke des Handels → Handel (Inverkehrbringer) → Konsument/Verbraucher Entscheiden in Absprache über Verpackung
Wie entwickelt sich die stoffliche Verwertung von Kunststoffen in Deutschland?	Die stoffliche (werkstoffliche und rohstoffliche) Verwertung von Kunststoffen steigt weiter an und Kunststoff gilt deutschlandweit inzwischen als Wertstoff.
Können alle Kunststofffraktionen stofflich sinnvoll verwertet werden?	Es gibt Kunststofffraktionen, die sich nicht sinnvoll stofflich verwerten lassen. (Mehrschicht-Verbundfolien; lackierte, beschichtete und verschmutzte Bauteile).
Welchen Vorteil hat die Verbrennung?	Durch die Verbrennung (energetische Verwertung) kann Energie gewonnen werden (sog. Sekundärenergieträger), wodurch Primärenergieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle) ersetzt und eingespart werden.
Welche Nutzung von Kunststoffen ist am effizientesten?	Am effizientesten ist eine Kaskadennutzung, wobei mehrfach eine stoffliche Verwertung der Kunststoffe erfolgt, bevor diese schließlich verbrannt werden.
Wofür gibt es Mehrschichtverbunde?	- Eine Schicht verhindert Austrocknen - Im Beispiel: drei Funktionsschichten und eine tragende Schicht - Oft Sauerstoff nicht rein und Wasser nicht raus - Recycling wird dann schwieriger
Wie kann der Kunststoffabfall verwertet werden?	Kunststoffabfälle 6,15 Mio. t Stoffliche Verwertung: 2,87 Mio. t Thermische Verwertung: 3,28 Mio. t Mülldeponie: 0,04 Mio. t Müllverbrennung (energetische Verwertung): 2,14 Mio. t Ersatzbrennstoff: 1,10 Mio. t Rohstoffliche Verwertung: 0,05 Mio. t Export Überhang: 0,12 Mio. t Export Überhang: 0,35 Mio. t Input: Recycling in Deutschland 2,23 Mio. t (36,3%) Output: Rezyklat für Kunststoffprodukte 1,88 Mio. t Output: Rezyklat für Kunststoffprodukte 1,76 Mio. t Quelle: https://kifir
Was darf auf die Mülldeponie?	Reste der Verbrennung, die sich nicht verbrennen lassen, dürfen auf die Mülldeponie
Wie viel der Kunststoffabfälle wird verwertet?	Tendenz steigend: In Europa werden 72,7 % der Kunststoffabfälle stofflich oder energetisch verwertet. Rund ein Drittel landet auf einer Deponie. In Deutschland beträgt die Verwertungsquote (inkl. energetischer Verwertung) 99,2 %
Wodurch werden bessere Rezyklate geschaffen?	Je gleichmäßiger und sortenreiner der Kunststoffabfall, desto bessere Rezyklate können geschaffen werden (bis zu Neuware-Qualität)!

Definiere Kunststoffrecycling.	• Rezyklat ist Kunststoff aus dem Recyclingprozess von Kunststoffabfällen (Überbegriff) • Regranulat wird ohne Veränderung der Materialzusammensetzung durch einen Schmelzprozess gewonnen (Änderung der Form) • Regenerat wird ein Rezyklat unter Änderung der Zusammensetzung genannt (Änderung der Eigenschaften) [ist anspruchsvoller] Das Diagramm zeigt den Prozess des Kunststoffrecyclings. Ein zentraler Kasten 'Rezyklat' verzweigt sich in drei Richtungen: 1. Unten links zu 'Regranulat' über den Pfad 'Umschmelzprozess → Formänderung'. 2. Unten in der Mitte zu 'Mahlgut, Flakes, Agglomerate' über den Pfad 'Zerkleinern → Volumenänderung'. 3. Unten rechts zu 'Regenerat, Recompound' über den Pfad 'Compoundierung → Änderung der Zusammensetzung'. Ein gestrichelter Pfeil führt von 'Regenerat, Recompound' weiter zu einem Kasten 'Neumaterial'.																												
Zeichne die Abfallhierarchie auf.	Das Diagramm stellt die Abfallhierarchie als umgedrehtes Dreieck dar. Die Stufen von oben nach unten sind: Vermeidung (grün), Vorbereitung zur Wiederverwendung (hellgrün), Recycling (gelb), Energetische Verwertung (orange) und Beseitigung (rot). Ein diagonal verlaufender Pfeil links neben den Stufen ist mit 'Abfallhierarchie' beschriftet.																												
Beschreibe das neue deutsche Verpackungsgesetz.	• Ziel des Gesetzes ist es, Verpackungsmüll aus privaten Haushalten zu vermeiden oder – wo das nicht möglich ist – getrennt einzusammeln und zu recyceln. Es soll letztlich auch bewirken, dass weniger unsinnige Verpackungen eingesetzt werden. • Für Glas, Papier, Metall, Verbunde bzw. Getränkekartons sowie Kunststoffe schreibt es stufenweise höhere Recyclingquoten vor. Nachweisen müssen diese die von Industrie und Handel finanzierten dualen Systeme. Die erste Stufe greift bereits seit 2019; die zweite Stufe seit 2022 (siehe Grafik). • Erreicht werden soll zudem eine höhere Mehrwegquote. Danach sollen 70 % aller Getränke in Mehrwegverpackungen angeboten werden. Der Einzelhandel muss für eine gut sichtbare Regalkennzeichnung sorgen, damit sich die Verbraucher bewusst für Mehrwegverpackungen entscheiden können. • Außerdem wird die Pfandpflicht für Getränkeverpackungen erweitert. Sie bezieht jetzt auch Frucht- und Gemüsenektar mit Kohlensäure sowie Getränke mit einem Anteil >50 % an Milcherzeugnissen mit ein. Verstöße werden mit Bußgeldern in Höhe von bis zu 200.000 Euro geahndet. Die Grafik zeigt die geplanten Recyclingquoten für verschiedene Wertstoffe in Prozent. Eine Legende rechts unterscheidet zwischen der 'Vorgabe heute' (hellblau), der 'Vorgabe ab 2019' (dunkelblau) und der 'Vorgabe ab 2022' (rot). Die Quoten sind: Kunststoffe (63% heute, Ziel 2022), Eisenmetalle/Weißblech (Ziel 2022), Aluminium (Ziel 2022), Glas (Ziel 2022), Papier/Pappe/Karton (Ziel 2022) und Verbunde bzw. Getränkekartons (Ziel 2022). <table><thead><tr><th>Material</th><th>Vorgabe heute</th><th>Vorgabe ab 2019</th><th>Vorgabe ab 2022</th></tr></thead><tbody><tr><td>Kunststoffe</td><td>63%</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Eisenmetalle/Weißblech</td><td></td><td></td><td>90%</td></tr><tr><td>Aluminium</td><td></td><td></td><td>90%</td></tr><tr><td>Glas</td><td></td><td></td><td>90%</td></tr><tr><td>Papier/Pappe/Karton</td><td></td><td></td><td>90%</td></tr><tr><td>Verbunde bzw. Getränkekartons</td><td></td><td></td><td>80%</td></tr></tbody></table>	Material	Vorgabe heute	Vorgabe ab 2019	Vorgabe ab 2022	Kunststoffe	63%			Eisenmetalle/Weißblech			90%	Aluminium			90%	Glas			90%	Papier/Pappe/Karton			90%	Verbunde bzw. Getränkekartons			80%
Material	Vorgabe heute	Vorgabe ab 2019	Vorgabe ab 2022																										
Kunststoffe	63%																												
Eisenmetalle/Weißblech			90%																										
Aluminium			90%																										
Glas			90%																										
Papier/Pappe/Karton			90%																										
Verbunde bzw. Getränkekartons			80%																										

Wie setzen sich die Abfälle im Meer zusammen?	Global composition of marine litter  - Biotic - Fisheries (metal) - Fisheries - Glass/ceramics - Metal - Miscellaneous types - Paper/cardboard - Rope - Textiles/fabrics - Timber - Cigarette buds - Fisheries (plastic) - Plastic fibers - Plastic film - Plastic pellets - Plastic - Styrofoam - Other
Wo befindet sich der Müll im Meer?	DIE UNSICHTBARE MÜLLDEPONIE Schätzungen der Plastikmenge in den Weltmeeren, in Tonnen, 2018  86 Millionen Tonnen Schätzung der Gesamtmenge an Plastik, die bisher im Meer gelandet ist. 210 000–439 000 Tonnen Plastik treibt auf der Meeresoberfläche. 23 Millionen Tonnengeschätzte Menge an Plastik auf dem Meeresboden. 34 Millionen im offenen Meer. Die Spitze des Eisbergs: 26,8 % Küsten-gewässer 0,5 % Meeresober-fläche 33,7 % Küsten- und Meeresboden 39 % im offenen Meer
Woher kommt bei der globalen Meeresverschmutzung der primäre Mikroplastik?	Primäre Mikroplastikstoffe gelangen nicht durch unachtsame Abfallentsorgung in die Umwelt!  - Schiffslacke - Reinigungsprodukte - Kunststoff-Granulate - Synthetische Fasern - Reifenabrieb - Fahrbahnmarkierungen - Städtischer Staub Quelle: IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources)
Woher hat die Mehrheit der Abfälle im Meer ihren Ursprung? Wie gelangen sie dort hin?	80 % der Abfälle im Meer haben ihren Ursprung an Land. - Durch Verwehungen, Auswaschungen und Erosion gelangen diese durch Flüsse und über Küsten in die marine Umwelt. „Stromaufwärts“ zur Ursache gesehen, müssen die Eintragungspfade in die Gewässer stärker untersucht werden. Unberücksichtigt bleibt z. B. der Eintragungspfad in die terrestrische Umwelt über Ausbringung von Komposten und Gärprodukten.
Wie viel Müll produziert jeder Deutsche im Jahr?	38kg

Wie sollte der Wirtschaftskreislauf in der Kunststoffindustrie aussehen?																																					
Findet eine Migration von Stoffen aus Kunststoffen statt?	• Kunststoffe bestehen aus Polymeren und Zusatzstoffen. Polymere selber gelten als nicht migrationsfähig, da sie eine Molmasse größer 1.000 g/mol besitzen.																																				
Von was ist die Migration abhängig?	<table><tr><td>Polymer > 1000 g/mol</td><td>+</td><td>Zusatzstoffe</td><td>= Kunststoff</td></tr><tr><td>Substanzen < 1000 g/mol (migrationsfähig):</td><td></td><td>Substanzen < 1000 g/mol (migrationsfähig):</td><td>Migration basiert vorwiegend auf Diffusion</td></tr><tr><td>+ Polymerisationshilfsstoffe (z.B. Katalysatoren)</td><td></td><td>+ Additive eventuell selbst</td><td>- Diffusionskoeffizient D</td></tr><tr><td>+ Restmonomere</td><td></td><td>+ NIAS</td><td>- Temperatur</td></tr><tr><td>+ NIAS</td><td></td><td></td><td>- Konzentration des Migranten (Gleichgewicht)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>- Zeit (bis Gleichgewicht)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>- Beweglichkeit (M_v)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>- Löslichkeit / Polarität („Gleiches löst sich in Gleichem“)</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>- Schichtdicke (Diffusionspfad: Wanderungsdauer)</td></tr></table> NIAS = „Non-intentionally added substances“ (unbeabsichtigte Verunreinigungen, z.B. aus Recycling, aber auch z.B. Abbauprodukte durch Alterung oder Rest-Oligomere) • Ziel: so wenig wie möglich muss drin sein und dann die Bedingungen gering halten	Polymer > 1000 g/mol	+	Zusatzstoffe	= Kunststoff	Substanzen < 1000 g/mol (migrationsfähig):		Substanzen < 1000 g/mol (migrationsfähig):	Migration basiert vorwiegend auf Diffusion	+ Polymerisationshilfsstoffe (z.B. Katalysatoren)		+ Additive eventuell selbst	- Diffusionskoeffizient D	+ Restmonomere		+ NIAS	- Temperatur	+ NIAS			- Konzentration des Migranten (Gleichgewicht)				- Zeit (bis Gleichgewicht)				- Beweglichkeit (M_v)				- Löslichkeit / Polarität („Gleiches löst sich in Gleichem“)				- Schichtdicke (Diffusionspfad: Wanderungsdauer)
Polymer > 1000 g/mol	+	Zusatzstoffe	= Kunststoff																																		
Substanzen < 1000 g/mol (migrationsfähig):		Substanzen < 1000 g/mol (migrationsfähig):	Migration basiert vorwiegend auf Diffusion																																		
+ Polymerisationshilfsstoffe (z.B. Katalysatoren)		+ Additive eventuell selbst	- Diffusionskoeffizient D																																		
+ Restmonomere		+ NIAS	- Temperatur																																		
+ NIAS			- Konzentration des Migranten (Gleichgewicht)																																		
			- Zeit (bis Gleichgewicht)																																		
			- Beweglichkeit (M_v)																																		
			- Löslichkeit / Polarität („Gleiches löst sich in Gleichem“)																																		
			- Schichtdicke (Diffusionspfad: Wanderungsdauer)																																		
Sind Kunststoffe „giftig“?	• Kunststoffe sind v. a. im Lebensmittelbereich in Europa umfassend reglementiert und kontrolliert. • Von allen Substanzen, die wir in den Körper aufnehmen, sollte das Risikopotential bekannt sein, um im Bedarfsfall sinnvoll Maßnahmen ableiten zu können. • „Sola dosis facit venenum“ „Alle Dinge sind Gift, und nichts ist ohne Gift; allein die Dosis machts, dass ein Ding kein Gift sei“.																																				

KAHOOT!

Wie viel Prozent der Kunststoffabfälle wurden 2015 in Deutschland verwertet?	a. 56 % b. 43 % c. 98,8 % d. 1,2 %	(c)
Woher stammt der größte Teil des Mülls am Strand?	a. Schifffahrt b. Fischerei c. vom Land d. Illegale Ablagerung	(c)
Welcher Parameter beeinflusst NICHT die Migration von Stoffen aus einem Kunststoff?	a. Temperatur b. Konzentration c. Wärmeleitfähigkeit d. Zeit	

	(c)
Zur Herstellung von welchem Kunststoff wird Bisphenol A eingesetzt?	a. Polypropylen b. Polyethylen c. Polyethylenterephthalat d. Polycarbonat (x)
Welcher Stoff in einigen Polymeren gilt als hormonähnlich (endokriner Disruptor)?	a. Ethylen b. Diisocyanat c. Acrylnitril d. Bisphenol A (x)
Welcher Stoff trägt am meisten östrogenartige Substanzen?	a. Polycarbonat b. Erbse c. Bohne d. Sojabohne (x)

LERNSTOPP

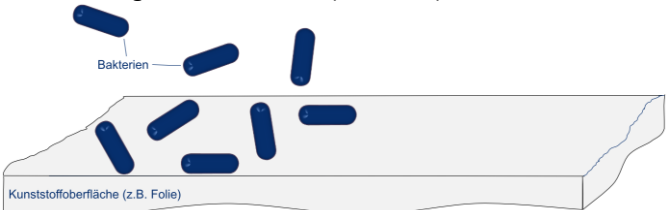
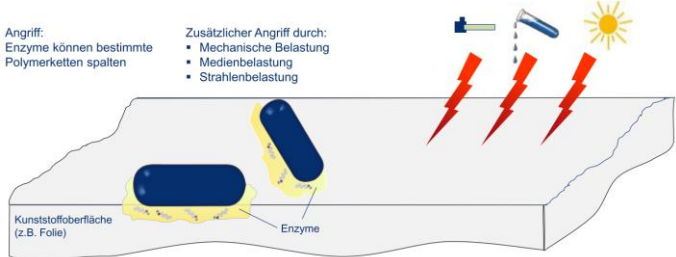
Was versteht man unter Primärenergieträgern und Sekundärenergieträgern?	· Sekundärenergieträger: Energie, die durch die Verbrennung (energetische Verwertung) von Abfällen gewonnen wird. · Primärenergieträger: Erdöl, Erdgas, Kohle
In welcher Reihenfolge sollten die Entsorgungsoptionen stehen? „Verminderung“ „Deponierung“ „Recycling“	1 „Verminderung“ 2 „Recycling“ 3 „Deponierung“ /Beseitigung
Was können Sie gegen Umweltverschmutzung tun? Nennen Sie zwei Beispiele.	· Vermeidung von Wegwerfprodukten und Produkten, die kleine Kunststoffpartikel enthalten · Müll vermeiden, Mülltrennung, korrekte Müllentsorgung
Welche Substanzen sind in der Lage aus einem Kunststoff zu migrieren? Welche können nicht migrieren und warum nicht?	· Substanzen mit Molmasse < 1000 g/mol migrationsfähig, z.B. Monomere, Polymerisationshilfsstoffe, Additive, NIAS („Verschmutzungen“) · Polymere selber nicht migrationsfähig, da Molmasse > 1000 g/mol.
Welchem Stoffprozess liegt die Migration zu Grunde?	· Diffusion

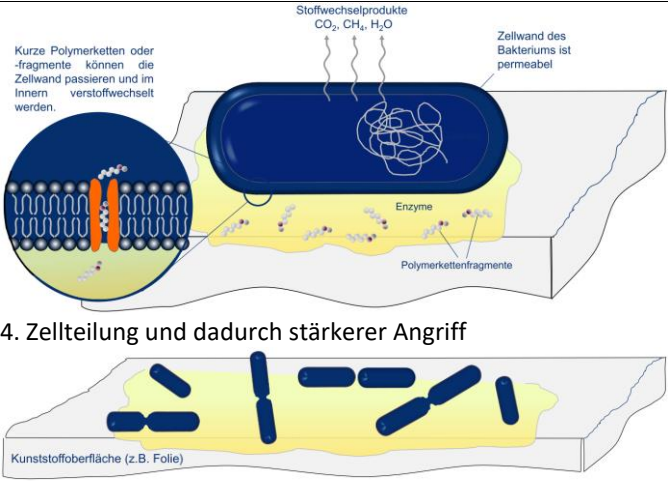
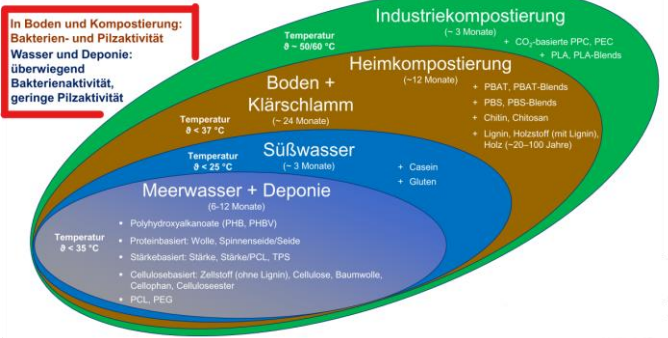
VORLESUNG 10

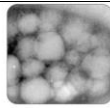
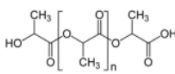
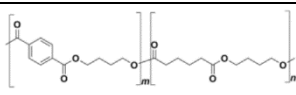
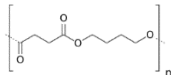
KUNSTSTOFFE UND UMWELT 2 – BOKUNSTSTOFFE UND RESSOURCENSCHONUNG

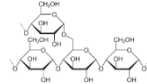
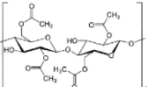
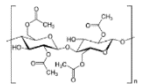
INHALT

Definiere den Begriff „Nachhaltigkeit“.	„Nicht mehr Holz darf einem Forst entnommen werden, als in ihm nachwächst.“ Die Nutzung und der „Anbau des Holzes (...), dass es eine kontinuierliche, beständige und nachhaltige Nutzung gebe“. - Hans Carl von Carlowitz „Nachhaltigkeit ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“ - Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (WCED)
---	---

In welchen Bereichen breitet sich das wachsende ökologische Bewusstsein aus?	- Bio-Nahrung - Biokunststoff - Bio-Energie (Regenerative Energie)
Wie werden Biokunststoffe eingeteilt?	Bioabbaubare Kunststoffe (fossiler oder nachwachsender Kohlenstoff) Bioabbaubarkeit Biologischer Prozess organischer Materie, welche durch Mikroorganismen (Bakterien und Pilze) vollständig zu Wasser, CO₂/Methan, Energie und neue Biomasse umgewandelt wird. ↓ Alternativer Entsorgungsweg Biobasierter Kunststoff (ausschließlich nachwachsender Kohlenstoff) Nachwachsend Auf Rohstoffe bezogen, welche nach spätestens zwei Wachstumsperioden geerntet werden (z.B. Mais, Weizen, Gras, Bakterien) ↓ Reduktion von fossilem CO₂ Unabhängigkeit von Erdöl Bioabbaubar: Es wird zu Natur Biobasiert: Es kommt aus der Natur
Wie sind die Begriffe „biologischer Abbau“ und „Kompostierung“ von Bioabbaubaren Kunststoffen zu deuten?	- Der biologische Abbau ist eine Werkstoffeigenschaft. - Der Begriff „Kompostierung“ stellt eine Produkteigenschaft dar. - „Kompostierbar“: zertifiziert-bioabbaubares Material, welches in bestimmtem Zeitrahmen unter kontrollierten Bedingungen (z.B. Kompostanlagen) zu Kompost umgewandelt wird.
Was sind die Kompostierbarkeits-Anforderungen (EN 13432)? (nicht genau wissen, nur Prinzip)	- Chem. Charakterisierung (organischer Anteil >50 %; Grenzwerte für giftige Bestandteile) - Bioabbaubarkeit (Labor-Test: max. 5 % nicht abbaubar bzw. 1 % pro Substanz; Rest baut ab zu CO₂, H₂O, Salzen und Biomasse) -> CO₂ Gehalt wird gemessen als Indikator, ob Kunststoff verstoffwechselt wurde oder nur zerfallen ist - Kompostierbarkeit (Feld-Test: 90 % der Fragmente <2 mm nach 12 Wochen) - Ökotoxizität (Keimrate spezieller Pflanzen >90 % derer des unbehandelten Bodens) Die hohen Anforderungen werden fast nur von Folien erfüllt. Dickere Bauteile müssen vor der Kompostierung zerkleinert werden. Um kompostierbare Kunststoffprodukte eindeutig zu kennzeichnen, gibt es verschiedene Zertifikate (mit dazugehörigen Logos).
Wie funktioniert der biologische Abbau?	1. Besiedlung durch Bakterien (und Pilze)  2. Angriff der Kunststoffoberfläche durch Enzyme Angriff: Enzyme können bestimmte Polymerketten spalten Zusätzlicher Angriff durch: • Mechanische Belastung • Medienbelastung • Strahlenbelastung  3. Verstoffwechselung Polymerkettenfragmente

	 4. Zellteilung und dadurch stärkerer Angriff
In welchen Umgebungen können versch. Polymere biologisch abgebaut werden? (nicht auswendig lernen)	 In Boden und Kompostierung: Bakterien- und Pilzaktivität Wasser und Deponie: überwiegend Bakterienaktivität, geringe Pilzaktivität Industriekompostierung (~ 3 Monate) Temperatur $\theta \sim 50/60^\circ\text{C}$ + CO₂-basierte PPC, PEC + PLA, PLA-Blends Heimkompostierung (~ 12 Monate) Temperatur $\theta < 37^\circ\text{C}$ + PBAT, PBAT-Blends + PBS, PBS-Blends + Chitin, Chitosan + Lignin, Holzstoff (mit Lignin), Holz (~20–100 Jahre) Boden + Klärschlamm (~ 24 Monate) Temperatur $\theta < 37^\circ\text{C}$ + Casein + Gluten Süßwasser (5–12 Monate) Temperatur $\theta < 25^\circ\text{C}$ + Polyhydroxyalkanoate (PHB, PHBV) + Proteinbasiert: Wolle, Spinnseide/Seide + Stärkebasiert: Stärke, Stärke/PCL, TPS + Cellulosebasiert: Zellstoff (ohne Lignin), Cellulose, Baumwolle, Cellulose, Celluloseester + PCL, PEG Meerwasser + Deponie (5–12 Monate) Temperatur $\theta < 35^\circ\text{C}$ Entscheidend sind die Randbedingungen: Temperatur, Sauerstoff, Salzgehalt
Was sind "Oxo-abbaubare" Additive?	"Oxo-abbaubare" Additive bestehen aus Übergangsmetallen (Kobalt, Mangan, Eisen, Zink), die Oxidation und Spaltung von Polymerketten in herkömmlichen Kunststoffen unterstützen, wenn diese Licht, Luft und Wärme ausgesetzt sind. Durch den Kettenabbau werden winzig kleine, kaum sichtbare Partikel gebildet, die nicht biologisch abgebaut werden (Additivhersteller haben dies bisher nicht belegt), in die Nahrungskette gelangen und sich anreichern.
Was sind Masterbatch mit "organischen Materialien"?	Masterbatch mit "organischen Materialien" haben einen bioabbaubaren Anteil. Dieser Anteil kann organisch sein, wie beispielsweise Cellulose oder Stärke, und innerhalb von Wochen abbauen. Der wichtige Punkt ist, dass nur dieser Anteil biologisch abbauen wird. Die restlichen 95-98 % des herkömmlichen Polymers werden lediglich in kaum sichtbare Kunststoffpartikel fragmentieren und nicht biologisch abbauen. (Die Hersteller der Masterbatche haben dies bisher nicht belegt). Diese Partikel gelangen in die Nahrungskette und reichern sich an.
Wie ist der „biobasierte Kunststoff“ definiert?	- Biobasierte Kunststoffe werden aus nachwachsenden Rohstoffen erzeugt. Ein biobasierter Kunststoff muss aber nicht zwangsläufig bioabbaubar sein. - "Biobasiert" = ausschließlich nachwachsende Kohlenstoffquelle - "Biobasiert" ist eine Werkstoff- und zugleich Produkteigenschaft. - Biobasierte Kunststoffe werden z.B. aus verschiedenen Kohlenhydraten gewonnen, wie z.B. Stärke, Lignin, Zucker, Cellulose und Pflanzenöle.

Wie können biobasierte Polymere hergestellt werden?	 Polymersynthese in Pflanzen Stärke, Lignin, Naturkautschuk, Cellulose  Polymersynthese in Tieren / Menschen Chitin, Kasein, Spinnenseide  Polymersynthese in Mikroorganismen Bakterium: Aeromonas hydrophila: → PHA  Monomersynthese in Mikroorganismen Milchsäurebakterium: → LA (Lactid Acid)  Monomere aus Pflanzen Bioethanol → Bio-PE Rizinusöl → Bio-PA Synthese Synthese Biobasierte Polymere <i>nicht kommerziell verfügbar</i> Bildquelle: IZVP, Univ. Stuttgart, Cellu.												
Wie kommt „altes“ CO ₂ ins Heute?	Vor Millionen von Jahren versanken mit der Zeit viele tote Organismen im Meer. → Mit der Zeit trockneten Meeresteile aus und viele Schichten lagerten sich ab. Unter hohem Druck und Temperatur wandelten anaerobe Bakterien die Organismen in fossile Kohlenwasserstoffe. → Jedes Jahr fördern wir fossile Kohlenwasserstoffe, welche in 1 Mio. Jahren Biomasse gespeichert wurden, und bringen sie ins Heute.												
Wie sieht der geschlossene CO ₂ -Kreislauf aus?	Pflanzen speichern CO₂ während des Wachstums in Form von Kohlenhydraten: “CO₂-Senke” → Verrottung der Pflanze erzeugt die gleiche Menge CO₂ wie gespeichert: “CO₂-neutral” → Sogar das Verbrennen der Pflanze erzeugt die gleiche Menge CO₂ wie gespeichert: “CO₂-neutral”												
Können Biokunststoffe die Welt retten?	- Erdöl und seine Folgeprodukte werden hauptsächlich zur Energieerzeugung verwendet („Primärenergieträger“). - Biobasierte Kunststoffe sind wichtiger Nutzen für die Gesellschaft, um für die Zeit nach dem Erdöl zu sorgen. → Die Kunststoffindustrie kann aber trotz zunehmendem Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen alleine nicht die Welt retten. Gerade einmal ~ 2,6 % des Erdölverbrauchs in Deutschland werden für die Produktion von Kunststoffen eingesetzt. Weitere 3,4 % für Klebstoffe, Lacke, ...												
Nenne Beispiele für biologisch abbaubare und biobasierte Polymere.	<table><tr><th colspan="2">Biologisch abbaubare Polymere (aus fossilen oder nachwachsenden Rohstoffen)</th><th colspan="2">Biobasierte Polymere (nur nachwachsende Rohstoffe)</th></tr><tr><td>Biologisch abbaubar:</td><td>PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ...</td><td>Nachwachsend:</td><td>PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ...</td></tr><tr><td></td><td>aber auch PBAT, PBS, ...</td><td></td><td>aber auch Bio-PE, Bio-PVC, Bio-PA, Bio-PUR, ...</td></tr></table>	Biologisch abbaubare Polymere (aus fossilen oder nachwachsenden Rohstoffen)		Biobasierte Polymere (nur nachwachsende Rohstoffe)		Biologisch abbaubar:	PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ...	Nachwachsend:	PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ...		aber auch PBAT, PBS, ...		aber auch Bio-PE, Bio-PVC, Bio-PA, Bio-PUR, ...
Biologisch abbaubare Polymere (aus fossilen oder nachwachsenden Rohstoffen)		Biobasierte Polymere (nur nachwachsende Rohstoffe)											
Biologisch abbaubar:	PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ...	Nachwachsend:	PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ...										
	aber auch PBAT, PBS, ...		aber auch Bio-PE, Bio-PVC, Bio-PA, Bio-PUR, ...										
Was ist der Gesellschaftlicher Nutzen von biologisch abbaubaren Polymeren?	Alternativer Entsorgungsweg												
Was ist der Gesellschaftlicher Nutzen von biobasierten Polymeren?	Reduktion von fossilem CO ₂ und Unabhängigkeit von Erdöl												
Haben bestehende Biopolymere bereits gute Eigenschaftsprofile?	Ja, dennoch: anwendungsspezifische Anforderungen werden oft nicht erfüllt.												
Eigenschaften von PLA	PLA: - Biobasiert - bioabbaubar 												
Eigenschaften von PHA	P3HB, PHV, P4HB: - biobasiert - bioabbaubar												
Eigenschaften von PBAT	PBAT: - fossil basiert - bioabbaubar 												
Eigenschaften von PBS	PBS: - (noch) fossil basiert - bioabbaubar 												

Eigenschaften von Stärke	Stärke: - biobasiert - bioabbaubar 
Eigenschaften von CA	CA: - teils biobasiert - bioabbaubar 
Eigenschaften von Lignin	Lignin: - biobasiert - bioabbaubar 
Wie wird aus dem Biopolymer ein Biokunststoffprodukt?	Unter dem Begriff „Aufbereitung“ fassen wir in der Kunststofftechnik alle Verfahrensschritte zusammen, die erforderlich sind, um aus Polymeren verarbeitbare Kunststoffformmassen mit definierten Eigenschaften herzustellen. Diese Eigenschaften sind vielfach speziell auf die zu fertigenden Endprodukte abgestimmt.  The diagram shows a four-stage process: Rohstoff (Monomere) → Material (Polymere) → Werkstoff (Kunststoffe) → Werkstück (Kunststoffbauteile). The stages are connected by arrows labeled Synthese, Aufbereitung, and Verarbeitung. Below each stage, specific processes are listed: Rohstoff includes Synthese (Polymerisation, Polykondensation, Polyaddition) and auch: Bio-Synthese; Material includes Aufbereitung (Mischen (Blenden), Additive dispergieren, Füllen, Verstärken, Entgasen, Filtern); Werkstoff includes Verarbeitung (Spritzgießen, Extrusion, Blasformen, Thermoformen, Pressen, Schäumen).
Was sind verarbeitungsfähige Biokunststoffe?	PLA PHA PBAT PBS Stärke CA Lignin Biopolymere (Auswahl) (unmodifiziert auf herkömmlichen Maschinen kaum verarbeitbar) z. B.: PLA/ PHA- Blend PLA/ PBAT- Blend PLA/ PBS- Blend Stärke/ PBAT- Blend Lignin/ PBAT- Blend verarbeitungsfähige Biokunststoffe
Nenne Beispiele für Biokunststoffe.	- Wasserfeste Müllbeutel - Luftkissen und Luftpolster - Tiefkühlverpackungen - Kompostierbare Netze (Obst/Gemüse) - Hygienefolien (Windeln) - Catering (Einwegschalen, Besteck, Trinkhalme) - Bürobedarf (Kuli, Spitzer) - Kosmetikanwendungen (Shampoo, Schminke) - Nutzung in der Landwirtschaft (Blumentopf, Folien) - Bio-WPC: Holzfasern mit Biokunststoff - Konsumelektronik (Tastatur, Smartphone)
Was sind Beispiele für sinnvolle Nutzung der biologischen Abbaubarkeit von Kunststoffen?	- Mulch Folie (Verringerung der Restverschmutzung des Bodens durch Kunststoffe) - Pflanzenclip - Fruchtaufkleber - Pflanzentopf - Wald Schild - Baumschutz - Schnur/Klinge für Rasenmäher - Kabelbinder

Wie hoch sind die Produktionskapazitäten von Biopolymeren und Biokunststoffen 2020?	Insgesamt 2.11 Mio. Tonnen Globaler Trend verlagert sich immer weiter nach Asien (46%). Im Vergleich Europa mit 26%.				
In welchen Anwendungen kommen Biokunststoffe am häufigsten vor?	1. Flexible Verpackung 2. Starre Verpackung <i>Global production capacities of bioplastics 2020 (by market segment)</i> Quelle: European Bioplastics, 2020				
Wie viel Prozent machen Biokunststoffe von den gesamten Kunststoffen aus?	Weniger als 1%				
Wie werden Biokunststoffe in mechanischen Recyclingströmen gehandhabt?	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Biabbaubare Polymere (aus fossilen oder nachwachsenden Rohstoffen)</th> <th>Biobasierte Polymere (nur nachwachsende Rohstoffe)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> Biologisch abbaubar: PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ... aber auch PBAT, PBS, ... </td> <td> Nachwachsend: PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ... aber auch Bio-PE, Bio-PA, Bio-PUR, Bio-PET </td> </tr> </tbody> </table> Kompostierbare Kunststoffe, nach EN 13432 zertifiziert, sind speziell für Bio-Recycling (industrielle Kompostierung) ausgelegt. Zu diesem Zweck sind sie in Europa mit eindeutigen Logos wie dem Keimling markiert. Wenn der Marktanteil steigt, wird es wirtschaftlich sein, kompostierbare Kunststoffe auszusortieren, um neue und wertvolle Märkte für die Entsorgungswirtschaft zu bilden. Biobasierte, nicht kompostierbare Kunststoffe (z.B. Bio-PE) sind chemisch identisch zu ihren konventionellen Pendanten und können einfach in bestehenden Kunststoff-Recyclingströme eingeführt werden. In einem PE-Abfallstrom dürfen jegliche Kontaminationen (sowohl kompostierbar oder konventionelle PS, PP, PET) einen bestimmten Prozentsatz nicht überschreiten.	Biabbaubare Polymere (aus fossilen oder nachwachsenden Rohstoffen)	Biobasierte Polymere (nur nachwachsende Rohstoffe)	Biologisch abbaubar: PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ... aber auch PBAT, PBS, ...	Nachwachsend: PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ... aber auch Bio-PE, Bio-PA, Bio-PUR, Bio-PET
Biabbaubare Polymere (aus fossilen oder nachwachsenden Rohstoffen)	Biobasierte Polymere (nur nachwachsende Rohstoffe)				
Biologisch abbaubar: PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ... aber auch PBAT, PBS, ...	Nachwachsend: PLA, PHA, Stärke, Lignin, Cellulose-Derivate, ... aber auch Bio-PE, Bio-PA, Bio-PUR, Bio-PET				
Was sind die UN-Ziele für eine nachhaltige Entwicklung? + Gedanken, wie Kunststoffe dazu beitragen können	1. Keine Armut (• Durch Bewässerungssysteme aus Kunststoff Erträge steigern • Durch Frühzuchtfolien aus Biokunststoffen Erträge steigern) 2. Kein Hunger (• Schützende Verpackungen für Lebensmittel, um Verderben hinauszuzögern • Kostengünstige Bewässerungssysteme aus Kunststoff für Kleinbauern) 3. Gesundheit und Wohlergehen (• Medizinprodukte ohne Kunststoffe nicht denkbar • Mit polymeren Membranen und Filtern Krankheitserreger in Gewässern verringern) 4. Hochwertige Bildung 5. Geschlechtergleichheit 6. Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen (• Mit polymeren Membranen und Filtern Krankheitserreger in Gewässern verringern • Kunststoffrohre für Wasser- und Abwasser, effiziente Bodenbewässerung • Nutzung von Kunststoffflaschen zur Wasserversorgung) 7. Bezahlbare und saubere Energie (• Regenerative Energie durch Kunststoffe: Windkraft, Solaranlagen, Brennstoffzellen • Energieeinsparung in der Mobilität: Massereduktion • Energieeinsparung durch Wärme/Kälteisolation) 8. Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum (• Kunststoffe werden in Entwicklungsländern nicht nur eingesetzt, sondern zunehmend verarbeitet und hergestellt werden. • Dies muss von Anfang an begleitet werden, um eine nachhaltige Nutzung sicherzustellen. (Stichworte: Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft)) 9. Industrie, Innovation und Infrastruktur (• Regenerative Energie durch Kunststoffe: Windkraft, Solaranlagen, Brennstoffzellen... • Kreislaufwirtschaft (Renewable Carbon))				

	10. Weniger Ungleichheiten 11. Nachhaltige Städte und Gemeinden (• Kreislaufwirtschaft (Renewable Carbon)) 12. Nachhaltige/r Konsum und Produktion (• Design for Recycling • Kreislaufwirtschaft (Renewable Carbon) • Industrie 4.0 zur Steigerung der Ressourceneffizienz • Nutzung regional verfügbarer Produkte) 13. Maßnahmen zum Klimaschutz (• Regenerative Energie durch Kunststoffe: Windkraft, Solaranlagen, Brennstoffzellen • Energieeinsparung in der Mobilität: Massereduktion • Energieeinsparung durch Wärme/Kälteisolation • Kreislaufwirtschaft (Renewable Carbon) • (Jedes Stück Metall und Keramik/Glas, das durch Kunststoff ersetzt wird, führt zu weniger CO2Emissionen.)) 14. Leben unter Wasser (• Einsatz in Meerwasser bioabbaubarer Kunststoffe • Granulatverlust in Gewässer unterbinden • Kreislaufwirtschaft (Renewable Carbon)) 15. Leben an Land (• Einträge von Kunststoffen in die Umwelt vermeiden • Granulatverlust auch an Land unterbinden) 16. Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen 17. Partnerschaften zum Erreichen der Ziele (• Universitäre Partnerschaften weltweit • Industriennahe Forschungsprojekte • Wissenstransfer in die Lehre)
Was ist die Jahrhundertaufgabe nach Ernst Ulrich?	“Ein großer wirtschaftlicher und auch gesellschaftlicher Wandel steht uns bevor!” “(…) Wir haben unermesslichen Wohlstand geschaffen, von dem wir vor 100 Jahren nur hätten träumen können. Die industrielle Revolution und das mit ihr einhergehende rasante Bevölkerungswachstum haben dazu geführt, dass wir Menschen fast alles bewohnbare Land in unseren Dienst genommen und Ressourcen aus den letzten Winkeln der Welt nutzbar gemacht haben. (...)” “Die Auswirkungen auf die Umwelt und Gesellschaft waren dabei zunächst nicht im Blick. Vor 20 Jahren ist der Kommunismus gescheitert, weil die Preise nicht der wirtschaftlichen Realität entsprachen und so könnte die heutige Gesellschaftsform zusammenbrechen, wenn die Preise nicht der ökologischen Realität entsprechen. (...)” “(…) Der freie Markt ist ausgezeichnet, um für effiziente Verwendung begrenzter Ressourcen zu sorgen und dabei Innovationen anzuregen. Doch Naturverbrauch wird nur in wenigen Ländern eingepreist.”
Was ist das Kyoto-Protokoll?	Ziel: Senkung der Emissionen an Treibhausgasen (CO ₂ , CH ₄ , FCKW) bis 2012 um mindestens 5 % unter das Niveau von 1990.
Was wurde am G7-Gipfel in Berlin vereinbart?	Bekenntnis der G7-Staaten zum Zwei-Grad-Ziel der Erderwärmung und zur Dekarbonisierung, also schrittweisen vollständigen Verzicht der Weltwirtschaft auf fossile Energieträger bis zum Ende des 21. Jahrhunderts.
Was ist das Pariser Klimaschutzabkommen?	Klimaschutzabkommen, mit dem sich die Weltgemeinschaft völkerrechtlich verbindlich zum Ziel bekennt, die Erderwärmung auf unter zwei Grad zu begrenzen. Es legt auch fest, dass die Welt nach 2050 treibhausgasneutral werden muss.
Welche Länder erzeugen am meisten CO ₂ absolut?	China, USA
Welche Länder erzeugen am meisten CO ₂ pro Kopf?	USA, Kanada, Australien

Wenn die heutige Weltbevölkerung von >7 Milliarden Menschen soviel fossiles CO ₂ / Kopf erzeugen würde, wie die heutigen Einwohner von USA, Kanada oder Australien, dann bräuchten wir so viele Erdkugeln:	5 (bei dem Verbrauch von DE wären es 3)
Welche Szenarien gibt es zur Lösung der Jahrhundertaufgabe?	1. Reduktion der Weltbevölkerung auf Stand des 18. Jahrhunderts. - Wie? 2. Die Industrienationen halten die Dritte Welt bettelarm. 3. Wir brauchen die fossilen Ressourcen auf, schwängern die Luft mit CO₂ aus der Vergangenheit mit all seinen Konsequenzen und fahren die Natur, aber auch die heutige Gesellschaftsform vor die Wand. 4. Wir steigern die Ressourceneffizienz und verlassen fossile Energieträger!
Was wird / ist der 6. Kondratieff-Zyklus?	
Was sind alternative regenerative Energieerzeugungen?	- Geothermie (Erdwärme statt Heizöl) Herausforderung: Die Pumpen, die uns Geothermie nach oben holen müssen mit regenerativer Energie betrieben werden. - Wasserkraft (Talsperren) Macht in Deutschland kaum Sinn, da sie zu wenig Energie erzeugen. In Norwegen z.B. sind die Fjorde so groß, dass damit massig Energie erzeugt werden kann.
Wo kann mit Kunststoffen zur Ressourcenschonung beigetragen werden?	- Energieeinsparung durch Kunststoffe im Baubereich (Wärmedämmung) - Energieeinsparung durch Kühlschränke mit PUR-Isolierung - Energieeinsparung durch Leichtbau (Auto, Flugzeug) - Energieeinsparung durch LED (Kunststoff!)
Was ist der „Rebound“-Effekt?	Direkter Rebound („Abprall“): Wird elektrisches Licht kostengünstiger, dann wird auch mehr beleuchtet.
Was sollte die Taktik der Ressourcenpolitik sein?	- „Freier Markt“ versagt bei langfristigen Fragestellungen - Energie- und Rohstoffpreise parallel zu Effizienzgewinnen anheben (Kosten bleiben in etwa konstant) - Hohe Energiepreise fördern wiederum Energieeffizienz - Japan hatte 1975–1990 die höchsten Energiepreise und ist damals wirtschaftlich davongezogen
Wie hängen BIP und CO ₂ -Emission zusammen?	Reiche Länder verbrauchen mehr CO₂. → Deutschland entkoppelt BIP von den CO₂-Emissionen → trotz Wirtschaftswachstum immer weniger Energie → Energieverbrauch/BIP Ziel bis 2030: -30%, bis 2050: -50%

	→ Maßnahmen: energieeffiziente Produktion, energieeffiziente Fahrzeuge, energieeffiziente Gebäude, regenerative Energie
Was ist das Treibhauspotential (Global Warming Potential GWP)?	- Den Energieeinsatz für die Herstellung von Produkten zu reduzieren, ist ebenso wichtig, wie für den Betrieb eines Gebäudes oder eines Fahrzeugs. - Der Energieeinsatz eines Produktes ist nicht nur abhängig von einer energieeffizienten Fertigung. Das relative Treibhauspotential gibt auch an, wie viel fossile Kohlenwasserstoffe im Lebenslauf eines Produktes hierfür verbraucht werden. - Die verschiedenen fossilen Kohlenwasserstoffe werden in ihrem Treibhauspotential auf CO₂ umgerechnet (Abkürzung CO₂e). So hat Methan ein Treibhauspotential von 21 CO₂e und FCKW von 12.400 CO₂e (bezogen auf Volumen und 100 Jahre). - Der sog. CO₂-Fußabdruck („Carbon footprint“) hat an Bedeutung gewonnen zur Ermittlung der Klimaauswirkungen von Produkten, Dienstleistungen und anderen alltäglichen Ereignissen.
Was ist der Carbon Footprint und die Ökobilanzen von Kunststoffprodukten?	- Der CO₂-Fußabdruck von Produkten stellt die Klimaschädlichkeit in einem Wert dar, um unterschiedliche Produkte auf ihren Ausstoß von CO₂e miteinander zu vergleichen. - Ein Produktlebenszyklus erfasst die gesamte Wertschöpfungskette: - Gewinnung, Aufbereitung und Transport der Vorprodukte, - Produktion und Logistik der Produkte,  Nutzung der Produkte und - Entsorgung/Recycling nach der Nutzung. - Ein Life Cycle Assessment (LCA) – auch als Ökobilanz bekannt – betrachtet den gesamten Produktlebenszyklus und ist daher aussagekräftiger, da neben dem CO₂-Fußabdruck weitere Faktoren (z.B. Wasserverschmutzung, radioaktive Belastung, Pestizidverbrauch) berücksichtigt werden.

KAHOOT!

Welche Aussage ist falsch?	a. Bioabbaubare Kunststoffe ermöglichen einen alternativen Entsorgungsweg. b. Der biologische Abbau ist eine Werkstoffeigenschaft. c. Die Kompostierbarkeit ist eine Produkteigenschaft. d. Biobasierte Kunststoffe sind auch bioabbaubar.
----------------------------	---

(d)

LERNSTOPP

In welche zwei großen Gruppen kann man die Biokunststoffe unterteilen? Definieren Sie diese.	Bioabbaubare Kunststoffe (fossiler oder nachwachsender Kohlenstoff) Bioabbaubarkeit Biologischer Prozess organischer Materie, welche durch Mikroorganismen (Bakterien und Pilze) vollständig zu Wasser, CO₂/Methan, Energie und neue Biomasse umgewandelt wird. ↓ Alternativer Entsorgungsweg Biobasierter Kunststoff (ausschließlich nachwachsender Kohlenstoff) Nachwachsend Auf Rohstoffe bezogen, welche nach spätestens zwei Wachstumsperioden geerntet werden (z.B. Mais, Weizen, Gras, Bakterien) ↓ Reduktion von fossilem CO₂ Unabhängigkeit von Erdöl
--	---

Sind Biopolymere direkt nach der Synthese als Werkstoff nutzbar? Erläutern Sie, warum oder warum nicht.	Nein, Biopolymere selbst sind kaum auf herkömmlichen Maschinen verarbeitungsfähig und meist nicht sofort anwendbar. Biopolymere müssen zunächst zu Biokunststoffen aufbereitet werden.
Nennen Sie vier Beispiele für Anwendungen von Biokunststoffen. Welche „Bio“-Eigenschaft wird jeweils genutzt?	Obstnetze → Bioabbaubarkeit Catering → Bioabbaubarkeit Bürobedarf → Biobasiertheit Landwirtschaft → Bioabbaubarkeit Konsumelektronik → Biobasiertheit Automobil → Biobasiertheit