

Gemeinsame Aufgabenpools der Länder

Pool für das Jahr 2025

Aufgaben für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	PLA für den 3D-Druck
Anforderungsniveau	erhöht
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Strukturen ausgewählter organischer und anorganischer Stoffe ♦ Chiralität ♦ Natürliche und synthetische Stoffe ♦ Kunststoffe ♦ Arbeitsweisen ♦ Synthesen ♦ Kunststoffsynthese
Materialien	♦ M 1 PLA ♦ M 2 Das FLM-Druckverfahren ♦ M 3 Die zwei Isomere der Milchsäure
Quellenangaben	♦ M 1 ♦ <i>Poly lactide</i> (2024, 01. März). Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Poly lactide (Zugriff am: 24.03.2024) ♦ Wiechoczek, D. (2009, 13. Mai). <i>Der spezielle Polyester: Polymilchsäure</i>. Prof. Blumes Medienangebot. https://www.chemieunterricht.de/dc2/plaste/poly-ms.htm (Zugriff am: 23.03.2024) ♦ <i>Milchsäure</i> (2024, 20. Februar). Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Milchs%C3%A4ure (Zugriff am: 24.03.2024) ♦ M 2 ♦ Gruska, A. & Popp, M. (2021, 22. März). <i>3D-Druckverfahren erklärt: FDM, FLM und FFF</i>. INDUSTRY OF THINGS. https://www.industry-of-things.de/3d-druckverfahren-erklart-fdm-flm-und-fff-a-1068314/ (Zugriff am: 24.03.2024) ♦ <i>Welche 3D Druck Verfahren gibt es?</i> (o. D.). PROTEC3D. https://protec3d.de/3d-drucken/ (Zugriff am: 24.03.2024) ♦ M 3 ♦ <i>Milchsäure</i> (2024, 20. Februar). Wikipedia. https://de.wikipedia.org/wiki/Milchs%C3%A4ure (Zugriff am: 24.03.2024)

	♦ <i>Green Copolymers Based on Poly(Lactid Acid) – Short Review</i> (2021, 13. September). PMC PubMed Central® https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8469957/ (Zugriff am: 24.03.2024))
Hilfsmittel	♦ digitales Hilfsmittel, das mindestens die Funktionalität eines WTR hat ♦ mathematisch-naturwissenschaftliche Formelsammlung
fachpraktischer Anteil	nein

1 Aufgabe

PLA für den 3D-Druck

Eine der populärsten Methoden des 3D-Druckens ist das Fused-Layer-Modeling-Verfahren (FLM-Verfahren), das auf dem Erweichen und Aufschmelzen eines Kunststoffes beruht. Vor allem PLA-Kunststoffe (Polylactid, Polymilchsäure) werden aufgrund ihres thermischen Verhaltens für dieses Verfahren eingesetzt. Das FLM-Verfahren zählt derzeit zu den günstigsten Möglichkeiten, dreidimensionale Objekte zu erzeugen.

	BE
1 Beschreiben Sie den Reaktionsmechanismus einer Estersynthese unter Verwendung geeigneter Strukturformeln am Beispiel der Milchsäure als Edukt (M 1). Geben Sie eine fachliche korrekte Bezeichnung für den beschriebenen Mechanismus an.	11
2 Stellen Sie unter Verwendung von Strukturformeln eine Reaktionsgleichung für die Bildung des PLA-Polymers aus dem Dilactid auf (M 1).	3
3 Leiten Sie drei Eigenschaften eines für den 3D-Druck geeigneten Kunststoffs ab (M 2). Begründen Sie die Eignung von PLA für den 3D-Druck auf Teilchenebene (M 1, M 2).	7
4 Beschreiben Sie das Diagramm und leiten Sie Zusammenhänge aus der Untersuchung von PLA-Kunststoffen ab (M 3). Geben Sie eine mögliche Erklärung der Ergebnisse an (M 3).	14
5 Beurteilen Sie, wie sich die Wahl von Temperatur und Druckgeschwindigkeit auf den 3D-Druck auswirkt, wenn unterschiedliche PLA-Isomerengemische verwendet werden (M 2, M 3).	5

Quellen (ggf. verändert):

- [1] *Polylactide* (2024, 01. März). Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/wiki/Polylactide> (Zugriff am: 23.03.2024)
- [2] Wiechoczek, D. (2009, 13. Mai). *Der spezielle Polyester: Polymilchsäure*. Prof. Blumes Medienangebot. <https://www.chemie-unterricht.de/dc2/plaste/poly-ms.htm> (Zugriff am: 23.03.2024)
- [3] *Milchsäure* (2024, 20. Februar). Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/wiki/Milchs%C3%A4ure> (Zugriff am: 24.03.2024)
- [4] Gruska, A. & Popp, M. (2021, 22. März). *3D-Druckverfahren erklärt: FDM, FLM und FFF*. INDUSTRY OF THINGS. <https://www.industry-of-things.de/3d-druckverfahren-erklart-fdm-flm-und-fff-a-95e2b6e85fea37eb1870f35e5bba259a/> (Zugriff am: 24.03.2024)
- [5] *Welche 3D Druck Verfahren gibt es?* (o. D.). PROTEC3D. <https://protec3d.de/3d-drucken/> (Zugriff am: 24.03.2024)
- [6] *Green Copolymers Based on Poly(Lactid Acid) – Short Review* (2021, 13. September). PMC PubMed Central® <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8469957/> (Zugriff am: 24.03.2024)

2 Material

Material 1: PLA [1] – [3]

Ein für den 3D-Druck häufig verwendeter Kunststoff ist Polymilchsäure (PLA). Dieser Kunststoff gehört zur Gruppe der Polyester. Der Ausgangsstoff für die Synthese ist Milchsäure (2-Hydroxypropansäure). In konzentrierten Lösungen gibt es kaum einzelne offenkettige Moleküle. Vielmehr bilden sich säurekatalysiert unter Abspaltung von Wasser-Molekülen cyclische Verbindungen, sogenannte Dilactid-Moleküle.

Die Bildung von PLA verläuft ausgehend von den Dilactiden. Diese reagieren bei Wärmezufuhr in Anwesenheit eines Katalysators zu PLA.

PLA ist biologisch abbaubar, leicht, robust, UV-beständig und schwer entflammbar. Zudem besitzt es eine verhältnismäßig niedrige Erweichungstemperatur von ca. 55 bis 65 °C und einen Schmelzbereich von ca. 160 bis 220 °C.

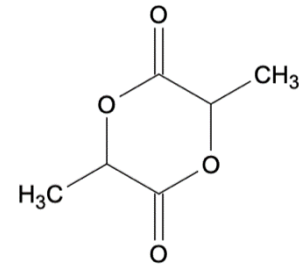


Abb. 1: Strukturformel für ein cyclisches Dilactid-Molekül

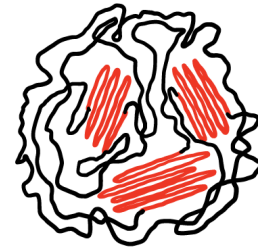


Abb. 2: Modell der Makromolekülanordnung im PLA-Kunststoff

Material 2: Das FLM-Druckverfahren [4]

Ein FLM-Drucker funktioniert im Prinzip wie eine Heißklebepistole: Er besteht aus einer beheizbaren Einheit, in die das Druckmaterial (Filament) geschoben und erwärmt wird. Als Filament bezeichnet man Endlosfasern aus Kunststoff.

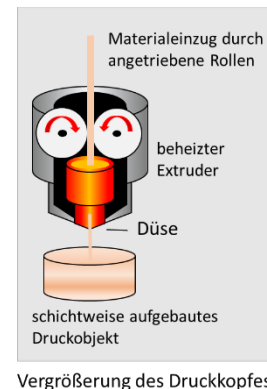
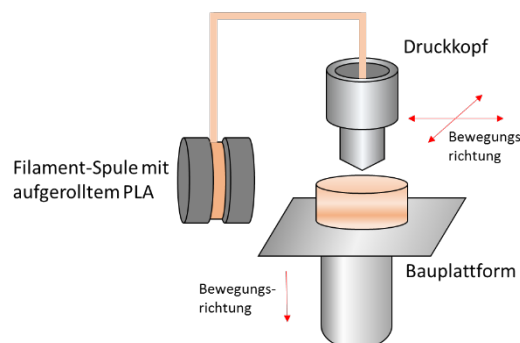


Abb. 3: schematische Darstellung des FLM-Druckverfahrens [5]

Die plastisch verformbare Polymermasse wird unter kontinuierlichem Druck aus der Düse herausgepresst. Die Temperatur, mit der die Düse arbeitet, ist einstellbar. Je nach Filamentsorte muss die Temperatur angepasst werden. Das erweichte Material wird nun Schicht für Schicht aufgetragen. Computergesteuert wird es entsprechend der programmierten Form gedruckt.

Material 3: Die zwei Isomere der Milchsäure [3], [6]

Aufgrund ihrer unterschiedlichen optischen Aktivität kann man D-Milchsäure und L-Milchsäure unterscheiden. Ein racemisches Milchsäure-Gemisch enthält zu gleichen Teilen D- und L-Milchsäure. PLA-Kunststoffe können aus Gemischen mit unterschiedlichem Monomeranteil von D- und L-Milchsäure hergestellt werden. Die PLA-Kunststoffe unterscheiden sich dann in der prozentualen Zusammensetzung ihrer Monomere im Copolymer. Aber auch die Herstellung isomerenreiner PLA-Kunststoffe nur aus L- oder D-Milchsäure ist möglich.

PLA besteht aus Molekülen unterschiedlicher Länge, weshalb PLA keine bestimmte molare Masse besitzt. In der Kunststofftechnik verwendet man deshalb eine statistische Größe: die sogenannte zahlenmittlere Molmasse M_n . Je höher dieser Zahlenwert ist, desto länger sind durchschnittlich die Polymerketten.

Der Einfluss einer unterschiedlichen Zusammensetzung von PLA-Kunststoffen auf die Erweichungstemperatur, also die Temperatur, bei der der Kunststoff plastisch verformbar wird, wurde untersucht. Die Ergebnisse sind im folgenden Diagramm dargestellt.

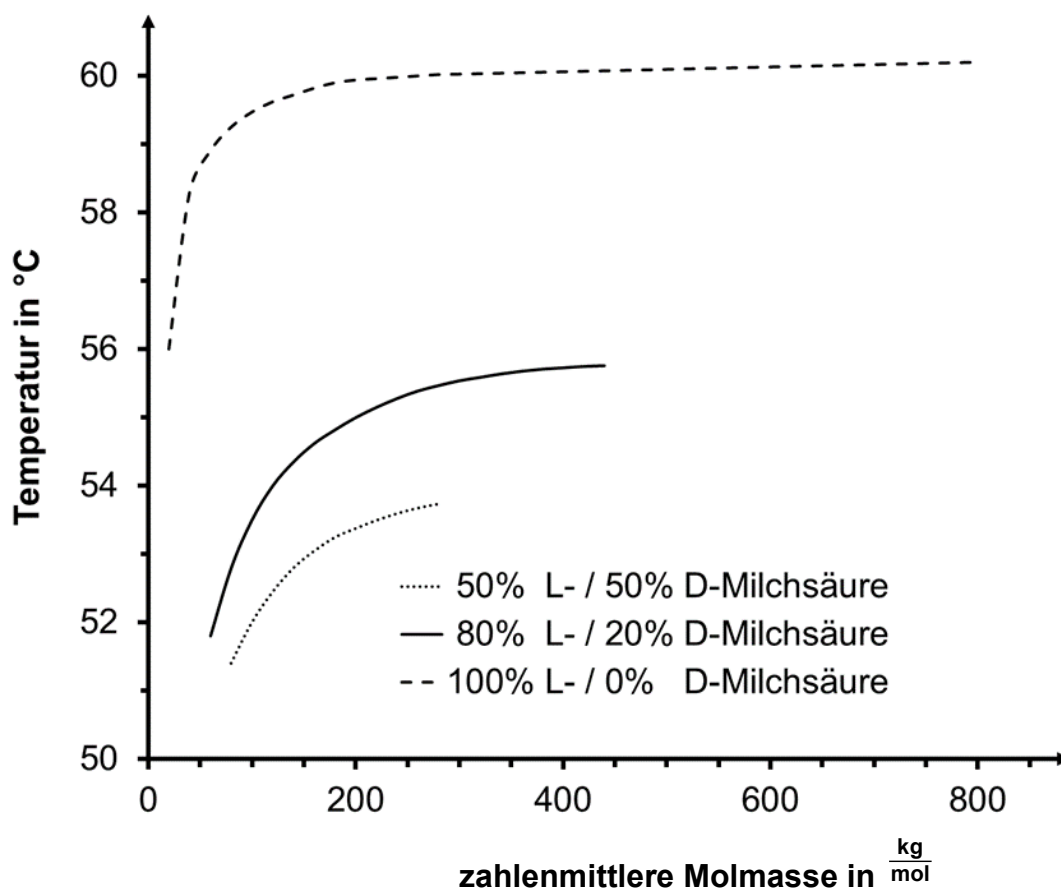
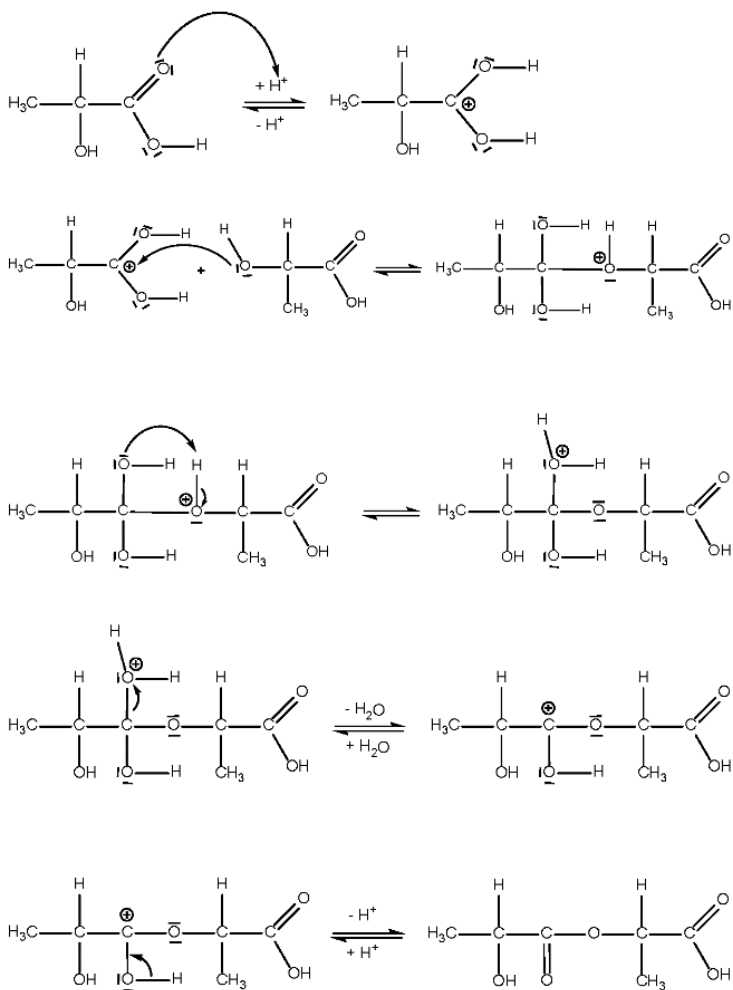
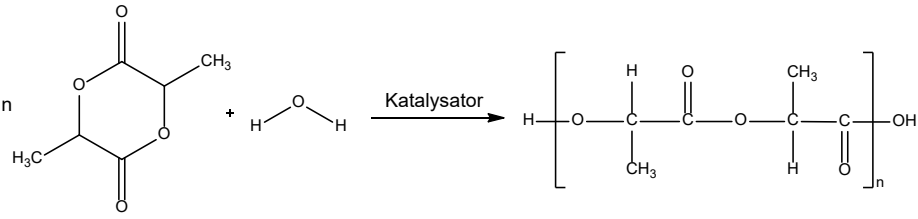


Abb. 4: Erweichungstemperatur verschiedener PLA-Kunststoffe

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<u>Bezeichnung und Beschreibung des Reaktionsmechanismus:</u> ♦ z. B. Additions-Eliminierungs-Mechanismus: ♦ Protonierung der Carboxygruppe eines Milchsäure-Moleküls und Bildung eines Carbokations ♦ Nucleophiler Angriff und Anlagerung eines zweiten Milchsäure-Moleküls ♦ Umlagerung eines Protons ♦ Eliminierung eines Wasser-Moleküls und Entstehung eines weiteren Carbokations ♦ Deprotonierung unter Ausbildung der Estergruppe <u>Reaktionsmechanismus Veresterung:</u> ♦ einzelne Schritte: 	5	1	
			5	

2	<u>Aufstellung der Reaktionsgleichung für die Bildung des PLA-Polymers:</u> 	1	1	1
3	<u>Ableitung von Eigenschaften für den 3D-Druck:</u> - Das Filament muss schmelzbar sein und durch eine Düse gepresst werden. - Nach dem Auftragen muss der Kunststoff an Ort und Stelle in der gewünschten Form erstarren. - Der Kunststoff darf sich nicht zersetzen. <u>Begründung der Eignung:</u> - PLA besitzt lange unverzweigte Molekülketten, oft teilkristalline Strukturen. - Die Temperaturerhöhung schwächt intra- und intermolekulare Wechselwirkungen der Polymerketten. - Molekülketten lassen sich beim Erwärmen gegeneinander verschieben, das Material wird plastisch verformbar. - Beim Abkühlen wirken die Wechselwirkungen wieder so stark, dass die Stoffportion die Form erhält.	2	1	
4	<u>Beschreibung des Diagramms:</u> - Das Diagramm zeigt die Erweichungstemperatur in °C in Abhängigkeit von der zahlenmittleren Molmasse in $\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$. - Dargestellt sind drei Graphen, die zu PLA-Kunststoffen unterschiedlicher Zusammensetzung der Monomer-Gemische gehören. - Untersucht wurde ein isomerenreiner PLA-Kunststoff (gestrichelte Linie) aus 100 % L-Monomeren und PLA-Kunststoffe aus L- und D-Monomeren in verschiedenen Anteilen: durchgezogene Linie: 80 % L-Monomer, gepunktete Linie: 50 % L-Monomer. <u>Ableitung der Zusammenhänge aus der Untersuchung:</u> - Je höher die zahlenmittlere Molmasse eines PLA-Kunststoffs ist, desto höher ist die Erweichungstemperatur. - Je höher der prozentuale Anteil von L-Monomeren im Eduktgemisch ist, desto höher ist die Erweichungstemperatur des PLA-Kunststoffes bei gleicher zahlenmittlerer Molmasse. - Der isomerenreine PLA-Kunststoff hat die höchsten Erweichungstemperaturen bei gleicher zahlenmittlerer Molmasse. - PLA-Kunststoffe aus Gemischen von L- und D-Monomeren haben niedrigere Erweichungstemperaturen. - Beim Isomerenverhältnis von 1 : 1 ist die Erweichungstemperatur bei gleicher zahlenmittlerer Molmasse am geringsten.	3		
			5	

	<u>Erklärung der Ergebnisse:</u> - Bei PLA-Kunststoffen, die nur aus L-Monomeren aufgebaut sind: - ist die Ausbildung von Wechselwirkungen (hier zwischen permanenten und temporären Dipolen) besser möglich, die Molekülketten lagern sich dichter aneinander und bilden mehr kristalline Bereiche aus; - es muss mehr Energie aufgewendet werden, um den höheren Anteil an kristallinen Strukturen zu überwinden; - ist die notwendige Temperatur zum Erweichen höher. - Bei PLA-Kunststoffen aus verschiedenen D- und L-Monomeren: - ist die Ausbildung intramolekularer Wechselwirkungen schwächer; - werden bevorzugt amorphe Bereiche ausgebildet, so dass Wechselwirkungen mit geringerem Energieaufwand überwunden werden können; - ist die notwendige Temperatur zum Erweichen niedriger.		2	1
			2	1
5	<u>Beurteilung:</u> - Bei Verwendung von PLA-Filamenten aus L- und D-Monomeren ist insbesondere bei racemischen Gemischen von einer niedrigeren Erweichungstemperatur auszugehen. Deshalb ist: - die Drucktemperatur anzupassen, um zu frühes bzw. zu starkes Verflüssigen des Kunststoffs zu verhindern. - Bei Verwendung von PLA-Filamenten mit höherem Anteil an L-Monomeren ist von einer höheren Erweichungstemperatur auszugehen. Deshalb ist: - die veränderte Aushärtungszeit des Druckobjektes zu beachten, damit es ausreichend lange aushärten kann, - die Druckgeschwindigkeit anzupassen, um die Verklebung der Schichten im Druckobjekt zu gewährleisten.			5
	Summe¹	12	20	8

¹ Bei jeder Aufgabe liegen die Anzahlen der Bewertungseinheiten – abhängig vom Anforderungsniveau – in den Bereichen, die der folgenden Tabelle zu entnehmen sind:

Anforderungsniveau	erhöht			grundlegend		
Anforderungsbereich	I	II	III	I	II	III
Anzahl der BE	11 - 13	17 - 21	8 - 10	10 - 12	13 - 16	4 - 6

4 Standardbezug²

Teilaufgabe	Kompetenzbereich			
	S	E	K	B
1	14, 16		7	
2	16		10	
3	2			
4	2	8	2	
5	2		10	1

5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster³ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

² Zu jeder Teilaufgabe sind zu jedem Kompetenzbereich die Nummern der Standards gemäß *Bildungsstandards für das Fach Biologie/Chemie/Physik für Allgemeine Hochschulreife* zu nennen, die zur Bearbeitung der Aufgabe erforderlich sind.

³ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.