

## Punkteverteilung

Aufgabe	Punkte	Inhalt	Bewertungskriterien / Mindestanforderungen
1 a) A	2	Casein-Kunststoff A	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beobachtungen zur Herstellung</li> </ul>
	2	Farb-Verschönerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchführung <i>und</i> Beobachtungen (bemalen: nur 1 Punkt)</li> </ul>
1 a) B	2	Klebstoff B	<ul style="list-style-type: none"> <li>Untersuchung von mind. drei Materialien</li> <li>Vergleich mit käuflichem Klebstoff (einer genügt)</li> </ul>
1 a) C	2	Polykondensat C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beobachtungen zur Herstellung</li> <li>Beobachtungen zu Vergleichsproben aus den Edukten alleine</li> </ul>
1 a) D	2	Schaumstoff D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beobachtungen zur Herstellung</li> </ul>
* 1 b)	2	Polymilchsäure	<ul style="list-style-type: none"> <li>grobe Darstellung von mind. drei Einsatzbereichen</li> </ul>
* 1 c)	2	Monomere & Polymere	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monomere &amp; Polymere                             <ul style="list-style-type: none"> <li>in Wort &amp; Struktur</li> <li>zu A &amp; C</li> </ul> </li> <li>Fehlt einer der Bereiche, ist maximal 1 Punkt erreichbar (z. B. nur Monomere oder nur in Worten). Grobe Darstellung genügt.</li> </ul>
2	2	Upcycling-Produkt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beschreibung der Herstellung</li> <li>zumindest Ausgangsgegenstand hauptsächlich aus Kunststoff</li> <li>Verwendung von mind. zwei der Kunststoffe A bis D</li> </ul>
	2	Idee/Bewerbung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Originalität des Upcycling-Produkts</li> <li>Foto samt Werbeslogan</li> </ul>
3 a)	2	Kunststoff-Trennung: Experiment	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durchführung <i>und</i> Beobachtungen</li> <li>Verwendung von mind. drei verschiedenen Flüssigkeiten</li> </ul>
	2	Kunststoff-Trennung: Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>als Ergebnis: teilweise Anordnung nach Dichte</li> <li>Einbezug von mind. drei Kunststofftypen aus Gelbem Sack</li> <li>Einbezug von mind. zwei der Kunststoffe A bis D</li> </ul>
3 b)	2	ökologische Probleme	<ul style="list-style-type: none"> <li>grobe Darstellung von mind. drei Problemen</li> <li>ausführlichere Darstellung eines der drei Probleme</li> </ul>
4 a)	2	Bewertung der Kunststoffe A bis D	<ul style="list-style-type: none"> <li><i>biobasiert (1 Punkt):</i> Betrachtung mind. folgender drei Edukte: Milch, Zitronen- oder Milchsäure, verwendetes Süßungsmittel</li> <li><i>ökologisch sinnvoll (1 Punkt):</i> Untersuchung von mind. zwei Faktoren (z. B. Treibhausgase, biolog. Abbaubarkeit), davon mindestens einer ausführlicher</li> </ul>
4 b)	2	<i>Fridays-for-Future</i> -Plakat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Botschaft im Plakat</li> <li>Erläuterung</li> <li>Foto als Deckblatt</li> </ul> Ist eines der Kriterien nicht erfüllt, ist nur 1 Punkt erreichbar.
äußere Form	2	Fotos	<ul style="list-style-type: none"> <li>aussagekräftig Fotos oder Zeichnungen (hier: ohne Deckblatt)</li> </ul>
	2	ordentliche Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>z. B. Deckblatt mit persönlichen Daten, Inhaltsverzeichnis, ...</li> <li>Handschriftliche Aufzeichnungen führen nicht zum Punktabzug.</li> </ul>
Zusatz	+1 +4	Ausgleichspunkte	max. Zusatzpunkte für die Klassenstufen 5 und 9 max. Zusatzpunkte für Gesamtschulen und Realschulen (plus)
<b>gesamt</b>	<b>28/32</b>	<b>für 5.–8. Klasse / 9.–10. Klasse</b> (exklusive Ausgleichspunkte)	

## Allgemeine Hinweise

### Wie ist die Tabelle zur Punkteverteilung zu verstehen?

In obiger Tabelle sind die maximal erreichbaren Punkte (jeweils 2 Punkte) angegeben. Die Punktevergabe pro Kategorie erfolgt *bis zur Maximalzahl in drei Stufen*, d. h.: Es können entweder 2 oder 1 oder 0 Punkte, jedoch keine Zwischenwerte vergeben werden.

*Beschreibung der Einstufungen:*

*2 Punkte:* sehr gute, ausführliche, differenzierte Darstellung (höchstens mit wenigen kleinen Fehlern)

*1 Punkt:* mittelmäßige Darstellung (teilweise lücken- oder fehlerhaft) oder ein nicht erfülltes Bewertungskriterium

*0 Punkte:* schwache Darstellung (zu knapp oder mit gravierenden Fehlern)

Die mit \* markierten, grau unterlegten Aufgaben werden nur von *9. und 10. Klasse* bearbeitet.

### Welche Urkunde gibt es mit welcher Punktzahl?

	5. bis 8. Klasse	9. bis 10. Klasse
<b>Ehrenurkunde</b>	28 – 19 Punkte	32 – 23 Punkte
<b>Siegerurkunde</b>	18 – 11 Punkte	22 – 13 Punkte
<b>Teilnahmeurkunde</b>	10 – 4 Punkte	12 – 5 Punkte
<b>Teilnahmebestätigung</b>	3 – 0 Punkte	4 – 0 Punkte

### Was ist mit Erwartungshorizont gemeint?

Folgende Hinweise zur Lösung sind nicht als Optimal- oder Standardlösung zu verstehen. Bewusst sind einige Aufgaben (wie die farbliche Verschönerung, das Upcycling oder der Dichteversuch) so offen formuliert, dass die Experimente (inklusive der Materialien und Mengen) eigenständig entwickelt bzw. recherchiert werden müssen, was zu *abweichenden* und unterschiedlich ausgeprägten Beobachtungen und Ergebnissen führen kann. Die Ursachen für solche Diskrepanzen können auch in den diversen Produktmarken oder an den Geräten des Haushalts (z. B. Zuverlässigkeit der Temperatur im Backofen) liegen. Entscheidend ist daher, dass die Tendenzen korrekt und Schlussfolgerungen logisch dargelegt sind.

Die zu einzelnen Aufgaben angeführten „*Anmerkungen*“ werden von den Wettbewerbsteilnehmenden nicht erwartet, sondern dienen nur der Information. So werden zu manchen Aufgaben mehrere mögliche Experimente als Alternative vorgeschlagen oder weiterführende theoretische Hintergründe ergänzt.

Da einige Schülerinnen und Schüler ihre Experimente in der Schule durchführen, wird akzeptiert, wenn die verwendeten Materialien *nicht aus dem Haushalt* stammen, sofern dies die Aufgabenstellung nicht ausdrücklich verlangt.

# Auftrag 1 a: Reaktion (Kunststoff-Herstellung)

## Kunststoff A (Casein-Kunststoff)

### Schritt 1:

Erwärme 200 mL fettarme H-Milch (mindestens auf Körpertemperatur, aber noch gut trinkbar) und rühre 50 mL Essig ein. Lass die Mischung 15 min stehen. Trenne dann Flüssigkeit und Feststoff, z. B. durch Auswringen im Küchenhandtuch.

### Schritt 2:

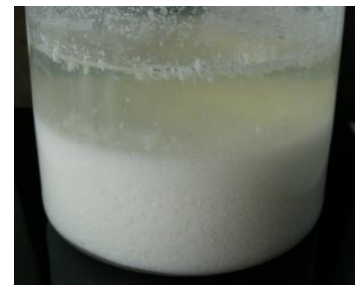
Forme aus dem erhaltenen Feststoff eine ästhetische Form und lass diese zeitnah trocknen (z. B. bei 80 °C im Backofen oder über der Heizung).

Versuche zudem, in einem der Schritte den Kunststoff durch Farbe (z. B. aus Lebensmitteln) zu verschönern.

### Beobachtungen:

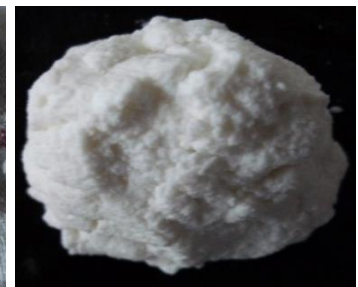
Nach Zugabe von Essig flockt die Milch aus.

Die Flocken setzen sich nach einiger Zeit ab, so dass sich zwei Phasen bilden: eine feste Masse (das „Casein“) und eine leicht trübe, gelbliche Flüssigkeit (die „Molke“). Es riecht ranzig. Je nach Temperatur können die Flocken sehr fein ausfallen, was das Auspressen im Handtuch erschwert, weil einige Flocken dann hindurchgehen.



Nach der Trennung bleibt ein weißer Klumpen bzw. eine bröckelige Masse (je nach Feuchte) im Handtuch zurück.

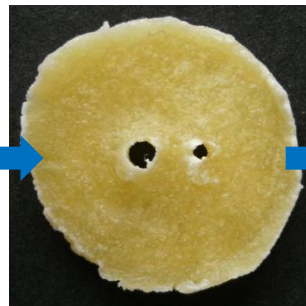
Das Casein lässt sich formen. Um es in die gewünschte Gestalt zu bringen, muss man es fest kneten und glatt reiben. Im Backofen oder über der Heizung härtet die Form zu einer sehr festen Masse aus.



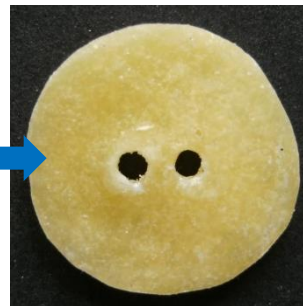
### Produkt:



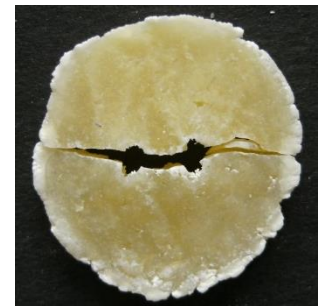
auf Backpapier vor dem Trocknen



nach 2 h bei 80 °C im Backofen



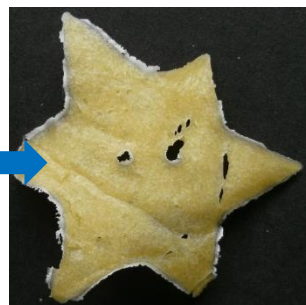
glatt gefeilt



Bruch durch Trocknen über der Heizung



auf Backpapier, vor dem Trocknen



nach 2 h im Backofen, zu dünne Schicht



nach 2 h im Backofen, hier dicker geformt



mit vielen weißen Flecken auf der Vorderseite

Es lassen sich funktionelle Gegenstände (wie ein Knopf, siehe Anmerkungen zum historischen Kontext) oder ästhetische Produkte (z. B. mit einer Back-Ausstechform) bilden.

- Löcher (z. B. am Knopf) sticht man schon vorher, da die Masse nachher zu hart dafür ist.
- Man sieht, dass die Schicht beim Erhitzen viel dünner wird und sich wölbt. Besonders am hier abgebildeten Beispiel des Sterns wird dies deutlich, so dass man schon vor dem Erhitzen auf eine gewisse Schichtdicke achten muss.
- Zur Verhinderung der Wölbung kann man zwei Platten (z. B. Schneidebrettchen) nutzen, um den Gegenstand einzuspannen und platt zu drücken.
- Während des Trocknungsprozesses können sich weiße Flecken auf der Oberfläche bilden. Dies gilt nicht für die Fläche, die direkten Kontakt mit dem Backpapier hat.
- Beim Trocknen über der Heizung (statt im Backofen) besteht die Gefahr, dass sich Spannungen bilden und der Gegenstand während der weiteren Verarbeitung bricht.

Nach dem Trocknen lassen sich die Gegenstände nachbehandeln, indem man etwa mit einer Feile die Ränder glättet oder die weißen Stellen ansatzweise entfernt.

### Anmerkungen:

#### (1) zur Herstellung

Die Ausflockungen sind - je nach Vorgehensweise - Schwankungen unterworfen. Es kann also durchaus vorkommen, dass das Auspressen bei den Wettbewerbsteilnehmenden mehr oder weniger gut gelingt.

##### - Fettanteil:

Je geringer der Fettanteil ist, umso größer werden die entstehenden Flocken. Sind diese zu groß (z. B. bei Magermilch), lässt sich die Masse zwar gut auspressen, bleibt aber nachher beim Formen nicht mehr homogen und bröseln nach dem Trocknen auseinander (s. Foto). Sind die Flocken dagegen (bei zu hohem Fettanteil) zu klein, gehen sie beim Auspressen durch das Handtuch hindurch.

##### - Frischmilch vs. haltbare Milch:

Frischmilch ist ungünstig. Sie flockt zwar besonders gut aus. Allerdings lässt sich aufgrund der porösen, bröseligen Konsistenz der zusammengedrückten Masse hiermit kein Gegenstand formen, ähnlich wie bei zu geringem Fettanteil.

##### - Essiganteil:

Verwendet man zu wenig Essig, entstehen nicht genügend Flocken. Je mehr Essig man jedoch pro Milcheinheit einsetzt, umso feiner werden die Ausflockungen, die sich dann schlechter auspressen lassen, weil sie einerseits leicht durch das Handtuch hindurchgehen und andererseits zu feucht bleiben.

##### - Milchtemperatur:

Bei der Temperatur der Milch zeigt sich ein ähnlicher Effekt wie beim Fettanteil: Je geringer die Temperatur ist, umso feiner sind die Flocken. Bei 30 °C sind sie zu klein für das Auspressen, bei 80 °C zu grob zum Formen eines stabilen Gegenstands (in dem hohen Temperaturbereich verlieren die meisten Proteine die Tertiärstruktur).

##### - Backofentemperatur:

Bei zu starkem Erhitzen (z. B. bei 100 °C) wird der Casein-Kunststoff braun.



#### (2) zur Erklärung

Milch enthält fein verteilte Proteine (Milcheiweiß). 80% der gesamten Proteine bilden das Casein, welches sich durch Essig, eine saure Lösung, ausfällen lässt, da die Säure die räumliche Anordnung der Proteinmoleküle verändert (Denaturierung).

Bei der weiteren Verarbeitung zum Klebstoff (Kunststoff B) wird die Säure durch Natron bzw. Backpulver neutralisiert, wodurch die räumliche Casein-Struktur erneut verändert wird. Zusätzlich bläht das sich dabei bildende Kohlenstoffdioxid die Eiweißklümpchen auf.

#### (3) zum historischen und aktuellen Kontext

Dass man aus Casein einen Kunststoff herstellen kann, wurde bereits im 16. Jh. entdeckt. Er wurde Galalith oder auch Kunsthorn genannt. 1913 wurden 6% der Gesamtmilchmenge des Deutschen Reiches alleine zur Herstellung von Galalith benutzt. Hieraus wurden etwa im 19. Jh. Bauklötzchen oder im 20. Jh. Knöpfe, Besteckgriffe, Isoliermaterial oder Gürtelschnallen hergestellt – damals eine bahnbrechende Innovation, die auch im Experiment des Wettbewerbs dazu verleitete, einen Knopf zu erzeugen. In der technischen Herstellung wurden die aus Casein geformten Gegenstände zusätzlich in Formaldehyd eingelegt, mit dessen Hilfe die Proteinketten vernetzt werden (über Methylengruppen) und der Kunststoff noch härter wird. Nach dem Zweiten Weltkrieg ging die Produktion deutlich zurück, da petrochemische Konkurrenzprodukte günstiger sowie weniger spröde waren und die Handhabung mit Formaldehyd immer stärker eingeschränkt wurde. Außerdem limitiert die Eigenschaft seiner hohen Wasseraufnahmefähigkeit die Einsatzbereiche von Galalith. Heutzutage findet er nur noch Anwendung in Nischen, wie z. B. bei Stricknadeln, Schmuck oder Füllfederhaltern.

Den Caseinleim (Kunststoff B) setzt man noch heute ein, z. B. als bei der Etikettierung oder als Bauklebstoff für Kork, Teppichboden, Trockenbauplatten oder Möbelstücke.

## Färbung des Kunststoffs A:

### Bewertungshinweis:

Zur Färbung kann man unterschiedlich vorgehen. Es wird nur eine Variante und auch die Verwendung nur eines Farbstoffes erwartet. Wird dabei die Variante des Bemalens (im Folgenden: die 4. Variante) gewählt, ist lediglich die halbe Punktzahl (1 von 2 Punkten) erreichbar.

### 1. Variante - Zugabe eines Farbstoffs direkt in die Milch (vor Schritt 1):

Beispiele für den Farbstoff:

Lebensmittelfarbe (z. B. Backzutat), Tinte, farbiger Gemüsesaft (z. B. aus roter Bete) oder farbiger Fruchtsaft (z. B. aus roten Kirschen)

### Beobachtungen:

Lebensmittelfarbe oder Tinte ist hervorragend geeignet, da nur wenige Tropfen benötigt werden – im Gegensatz zu den farbigen Säften, von denen sich aufgrund der intensiven Eigenfärbung besonders der Saft aus roter Bete (aus dem Konservenglas oder als fertiger Saft) bewährt hat. In dem weißen Casein verändern sich die Farben im Vergleich zum Original leicht, nach dem Erhitzen im Backofen ein weiteres Mal. So wirkt so manches Rot des Obstsaftes nachher eher wie grau, das Blau der Backfarbe nachher grünlich und das Blau der Tinte nachher dunkler.

	blaue Backfarbe	blaue Tinte	Rote-Bete-Saft	Kirschsaft (ähnlich: Johannisbeersaft)
<b>vor Trocknung</b>				
<b>nach Trocknung im Backofen</b>			 Rück- seite	 Vorder- seite
			 Rück- seite	 Vorder- seite

Der Effekt, dass sich auf der Oberfläche, die nicht abgedeckt wird, weiße Flecken bilden können, macht sich auch bei den gefärbten Gebilden bemerkbar, wie an den beiden nebenstehenden Bildern zu sehen ist.

### Anmerkungen:

- Durch die Zugabe der Obst- und Gemüsesäfte zur Milch wird die gesamte Mischung verdünnt, was das Formen des Caseins ein wenig beeinträchtigt, aber es funktioniert.
- Die Gemüse- und Obstsaft tragen selbst schon zum Ausflocken bei, weil sie sauer sind. Dieser Anteil stört allerdings nicht, da anschließend ohnehin eine wesentlich größere Menge Säure in Form von Essig hinzugegeben wird.

**2. Variante - Zugabe eines Farbstoffs in die Masse vor dem Formen (vor Schritt 2):**

Die Farbstoffe aus der 1. Variante lassen sich auch hier einsetzen, indem man sie in das ausgepresste, aber noch nicht getrocknete Casein einreibt (unter Tragen von Handschuhen). Da hier die Mengenrelation noch entscheidender ist, eignen sich Lebensmittelfarbe und Tinte deutlich besser als die farbigen Säfte, die man eher auf die Masse aufträufeln muss, was aufgrund der großen Feuchtigkeit das Formen erschwert.

	vor dem Formen	nach dem Formen, vor dem Trocknen	nach dem Formen, vor dem Trocknen (Rückseite)	nach dem Formen, vor dem Trocknen (Vorderseite)
<b>Rote-Bete-Saft</b>				
<b>Kirschsaft</b>				

**3. Variante: Erhitzen bei höherer Temperatur**

Wählt man eine höhere Temperatur für das Trocknen im Backofen (in den Fotos für 30 min. bei 100 °C), stellt sich eine Braunfärbung ein.



**4. Variante: Färben des fertigen Gegenstands**

Natürlich kann man den selbst hergestellten Kunststoff auch mit wasserfesten Stiften bemalen.



## Kunststoff B (Caseinleim)

Wiederhole *Schritt 1* zu Kunststoff A. In den erhaltenen Feststoff knetest du dieses Mal Backpulver in kleinen Portionen und sukzessive ein paar Tropfen Wasser ein, bis ein Klebstoff entsteht.

Dieser Klebstoff ist auch ein Kunststoff. Teste seine Wirkung an verschiedenen Materialien und vergleiche ihn mit einem käuflichen Klebstoff.

### Beobachtungen:

Die Masse wird geschmeidiger und leimartig. Ihr Volumen verringert sich.

Rührt man zu viel Backpulver ein, wird die Mischung zwar trocken, was durch die Zugabe von einigen Tropfen Wasser jedoch wieder ausgeglichen wird, ohne die Klebewirkung zu beeinträchtigen.

Es wird so lange geknetet, bis alle Krümel verschwunden sind, damit sich die Substanz gut auf die zu verklebenden Materialien auftragen lässt.

## Klebstoff-Wirkung

### Bewertungshinweis:

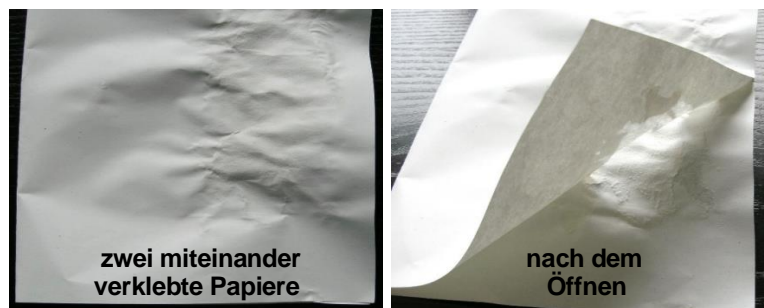
Bei der Klebprobe lassen sich zahlreiche Materialien testen. Mindestens drei verschiedene werden erwartet. Bei der Wahl eines käuflichen Klebstoffs sind die Wettbewerbsteilnehmenden ganz frei; am besten greifen sie auf ein Produkt zurück, das bereits zu Hause vorliegt (z. B. Alleskleber, Klebestift, Tapetenkleister). Für den Vergleich genügt ein einziger käuflicher Klebstoff.

### Durchführung:

Man trägt den Klebstoff auf die beiden zu verbindenden Flächen auf, drückt diese aufeinander und lässt das Ganze trocknen. Für die Untersuchung werden verschiedene Materialien gewählt (z. B. Papier, Holz, Metall, ...).

### Beobachtung:

Beim Papier erkennt man eindeutig die erfolgreiche Klebewirkung, wenn man versucht, die verbundenen Flächen wieder voneinander zu trennen: Die obere Papierhälfte lässt sich nicht mehr von der unteren lösen, sondern reißt und hinterlässt Löcher (s. Fotos).



Papier und Holz lassen sich hervorragend mit dem erhaltenen Klebstoff B verkleben. Bei vielen Materialien wie Glas oder Metallplatten bleibt der Klebstoff auch nach einer längeren Wartezeit (mehr als einer Stunde) feucht, da das Wasser durch das Material nicht hindurchdiffundieren kann.

	Papier v. a. aus Cellulose	Holz v. a. aus Cellulose	Styropor Kunststoff	PE Kunststoff	Gummi Kunststoff	Alumi- nium Metall	Eisen Legierung	Kupfer Legierung	Glas
<b>Testmaterial</b> (beispielhaft)	Schreib- papier	Reagenz- glashalter	Styropor- platte	Plastik- folie	Gummi- stopfen	Alufolie	Metall- platten	Cent- münzen	Petri- schale
<b>Ergebnis</b>	+	+	+	-	-	-	-	-	-

+ klebt sehr gut    - hält nicht

### Anmerkung:

Backpulver alleine (quasi als Blindprobe), zusammen mit ein paar Tropfen Wasser, ist nicht als Klebstoff geeignet. Das Casein ist also für die Klebewirkung notwendig.





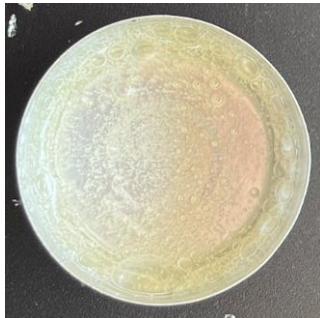

# Kunststoff C (Polykondensat)

Gib 1 TL Zitronensäure und 1 TL des Süßungsmittel-Pulvers Traubenzucker, Sorbit *oder* Xylit (wahlweise) in eine leere Alu-Hülle eines Teelichts. Rühre gut um. Zum Vergleich gibst du in zwei andere Alu-Hüllen jeweils nur einen der beiden Ausgangsstoffe, davon jedoch 2 TL.

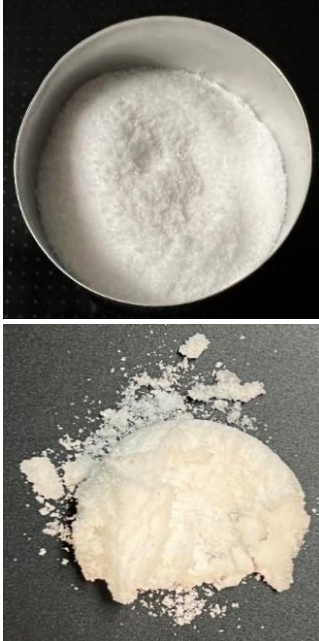
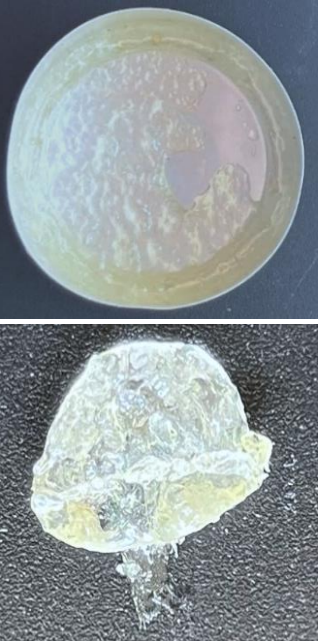

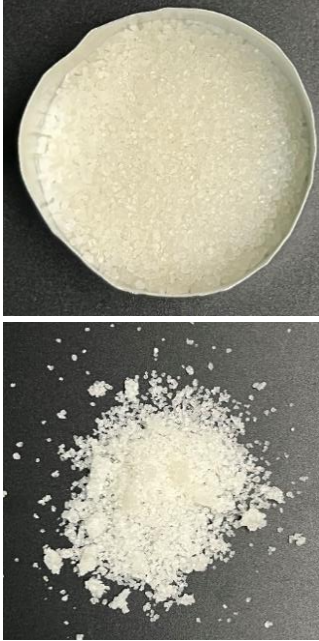
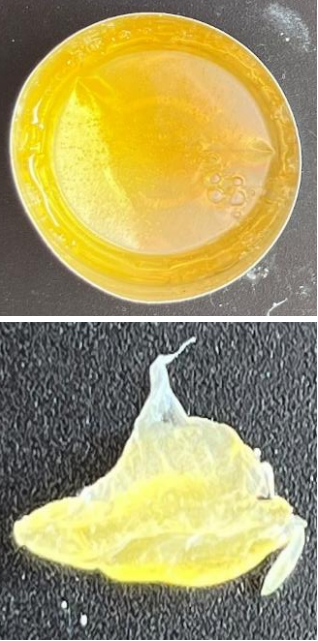
Erhitze alles im vorgeheizten Backofen (Umluft):

10 min bei 150 °C im Fall von Traubenzucker bzw. 15 min bei 200 °C im Fall von Sorbit oder Xylit.

## Beobachtungen:

	Traubenzucker 10 min. bei 150 °C	Sorbit 15 min. bei 200 °C	Xylit 15 min. bei 200 °C
Zitronensäure plus Süßstoff	  <p>aus Hülle genommen</p> <p>Die Mischung schmilzt beim Erhitzen. Das abgekühlte Produkt ist gelblich, homogen, transparent, scheibenartig, im Aggregatzustand zwar fest, aber dehnbar.</p>	  <p>Die Mischung schmilzt zunächst, wird transparent und geht ein wenig auf. Die Kristalle sind nicht mehr zu sehen. Das abgekühlte Produkt ist gelb. Erkennbar sind eingeschlossene Blasen. Es ist fest, sehr hart und bricht beim Herausnehmen aus der Alu-Hülle in viele kleine Stücke.</p>	  <p>Die Mischung schmilzt zunächst. Das abgekühlte Produkt hat einen dezenten Gelbstich. Es ist klebrig und recht fest, gerade im Vergleich zum Produkt aus Xylit alleine. Je nach Edukt-Menge ist es dehnbar und kann – vor allem nach einer längeren Wartezeit – an der Oberfläche zähflüssig werden.</p>





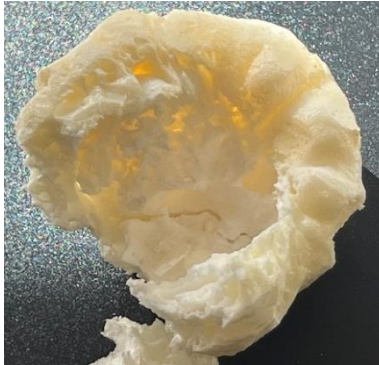



<p><b>Süßstoff alleine</b></p>	 <p>Beim Erhitzen lässt sich keine Aggregatzustandsänderung beobachten: Traubenzucker bleibt pulvrig und klumpt teilweise zusammen, so dass ein Unterschied zum Produkt aus Zitronensäure und Traubenzucker deutlich erkennbar ist.</p>	 <p>Das Produkt ist farblos (also kein Gelbstich), klar und zunächst zähflüssig. Es ist auch nach dem Abkühlen keinesfalls hart oder brüchig, sondern so klebrig und zäh, dass es sich nur zum Teil aus der Alu-Hülle entnehmen lässt.</p>	 <p>Beim Erhitzen wird Xylit flüssig und farblos. In der klaren Flüssigkeit bilden sich einige weiße Kristalle. Beim Abkühlen wird der transparente Anteil wieder weiß. Das Produkt ist zähflüssig und extrem klebrig: Es lassen sich leicht Fäden aus der Masse ziehen.</p>
<p><b>Zitronensäure alleine</b></p>	 <p>Beim Erhitzen bleibt die Zitronensäure pulvrig (im Gegensatz zum Erhitzen für 15 min. bei 200 °C, siehe rechts) und klumpt wenig zusammen.</p>	 <p>Mischung schmilzt und wird zähflüssig. Das Produkt ist orange-gelb. Es ist weder hart noch brüchig, sondern so klebrig und dehnbar, dass man es nur durch Herauskratzen aus der Alu-Hülle bekommt.</p>	

# Kunststoff D (Schaumstoff)

Gehe ähnlich wie bei Kunststoff C vor: Dieses Mal nimmst du jeweils nur ½ TL der beiden Ausgangsstoffe und gibst zusätzlich noch ½ TL Natron *oder* Backpulver hinzu. Verzichte auf die Proben zum Vergleich. Erhitze wie bei Kunststoff C.

Beobachtungen:

	Traubenzucker 10 min. bei 150 °C	Sorbit 15 min. bei 200 °C	Xylit 15 min. bei 200 °C
mit Natron	 von Seite		
	 von oben		<p>Beim Erhitzen schäumt die Mischung so stark auf, dass sie letztlich weit über die Alu-Hülle hinausgeht. Es entsteht eine gelbliche Masse, die an Baiser erinnert. Sie lässt sich leicht zusammendrücken, wobei sie knistert.</p> <p>Das folgende Foto zeigt das Anfangsstadium während des Erhitzens, als die Mischung langsam Blasen wirft und sich ausdehnt:</p>
	 aufgeschnitten	<p>Beim Erhitzen schäumt die Mischung so stark auf, dass sie letztlich weit über die Alu-Hülle hinausgeht. Es entsteht eine gelbliche Masse, die an Baiser erinnert. Sie lässt sich leicht zusammendrücken, wobei sie knistert.</p>	
	<p>Beim Erhitzen schäumt die Mischung auf und ragt dann weit über den Rand der Alu-Hülle hinaus. Es entsteht eine in Gelb- und Brauntönen gemusterte Masse. Beim Aufschneiden der Alu-Hülle sieht man eine durch das Auftriebmittel unregelmäßig gebildete Struktur.</p>		

mit  
Back-  
pulver



Beim Erhitzen schäumt die Mischung auf und ragt dann über den Rand der Alu-Hülle hinaus.  
Es entsteht eine in Brauntönen gemusterte Masse.  
Beim Aufschneiden der Alu-Hülle sieht man eine recht regelmäßig gebildete Schaumstoffstruktur.



Beim Erhitzen schäumt die Mischung so stark auf, dass sie letztlich weit über die Alu-Hülle hinausgeht. Es entsteht eine gelbliche Masse, die an Baiser erinnert. Sie lässt sich leicht zusammendrücken, wobei sie knistert.



Beim Erhitzen schäumt die Mischung so stark auf, dass sie letztlich weit über die Alu-Hülle hinausgeht. Es entsteht eine gelbliche Masse, die an Baiser erinnert. Sie lässt sich leicht zusammendrücken, wobei sie knistert.

### Anmerkungen:

- Der Natron- bzw. Backpulveranteil ist entscheidend für das Aufschäumen des Kunststoffes. Allerdings ist die Mengenangabe „½ TL Natron“ kaum valide abzumessen, so dass der Schaumstoff, den die Wettbewerbsteilnehmenden herstellen, sehr stark oder – im ungünstigen Fall – nur sehr wenig aufgeht.
- Der aus Traubenzucker und Backpulver gebildete Schaumstoff fällt nach einigen Stunden ein wenig zusammen, bleibt aber dennoch voluminös (siehe Foto). In den Schaumstoff darf man, wenn er noch warm ist, nicht hineinstecken, da er dann in sich zusammenfällt.
- Andere Süßstoffe, die im Molekül mehrere Hydroxy-Gruppen tragen und damit eine notwendige Voraussetzung für die Bildung von Polykondensaten mitbringen, haben im Experiment nicht funktioniert: Das Produkt aus Erythrit und Zitronensäure wird nicht fest genug. Käufliches Stevia stinkt beim Erhitzen, wird braun und bröselig (ein Schaumstoff funktioniert dadurch erst recht nicht); denn dieses Produkt enthält zum überwiegenden Teil Maltodextrin.
- Hier noch einige für das Erhitzen interessante Stoffdaten:



	Schmelzpunkt	Siedepunkt	Zersetzungstemp.	Zündtemperatur
Zitronensäure	100 °C (Monohydrat)	310 °C	175 °C	345 °C
Sorbit	95 °C	296 °C	hitzestabil	400 °C
Traubenzucker (Glucose)	85 °C (Monohydrat)	-	146 °C	500 °C
Xylit	94 °C	216 °C	hitzestabil	440 °C

Ermittle Einsatzbereiche der Polymilchsäure.

## **Bewertungshinweis:**

Erwartet werden mindestens drei verschiedene Einsatzbereiche.

Je nach Anwendungsbereich werden der Polymilchsäure noch Zusatzstoffe zur Verbesserung der Eigenschaften (z. B. Belastbarkeit) zugefügt, etwa durch Copolymerisation (sogenannte PLA-Blends). Die Einsatzbereiche sind häufig davon geprägt, dass Polymilchsäure biologisch abbaubar ist, dieser Prozess aber nicht zu schnell erfolgt. Dieser Effekt wird zum Beispiel in der Medizintechnik genutzt, da das dem Körper zugefügte Material aus Polymilchsäure (etwa als Naht) nicht mehr durch einen weiteren Eingriff entfernt werden muss. Außerdem wird dieser Kunststoff bei etwa 50 - 60 °C weich, so dass er sich nur für Anwendungen im niedrigen Temperaturbereich eignet. Durch Verstärkung mit anderen Materialien lässt sich die Temperaturbeständigkeit jedoch erhöhen.

- **Medizintechnik (wichtigster Anwendungsbereich)**  
Beispiele: Nahtmaterial,  
Implantate wie Nägel, Schrauben (z. B. für Knochenbrüche), Platten oder Stents, als Wirkstoffträger im Rahmen von Wirkstoffabgabesystemen (sog. Drug Delivery Systems) für die zielgerichtete Freisetzung von Arzneimittel-Wirkstoffen an dem gewünschten Anwendungsort (z. B. in Form von Mikrokügelchen), als Gerüstmaterial zur künstlichen Herstellung biologischer Gewebe als Ersatz oder zur Generation des kranken Gewebes beim Patienten (sog. Tissue Engineering)
- **3D-Druck**  
Polymilchsäure als zu formendes Rohmaterial für die Schmelzschichtung
- **Landwirtschaft / Gartenbau**  
Beispiele: Mulchfolien zur Abdeckung von Beeten oder Ackerfläche (können aufgrund der biologischen Abbaubarkeit nach der Nutzung untergepflügt werden), Halterungen und Klipse für Pflanzentriebe
- **Verpackungen**  
nur für kurzlebige Güter wegen der biologischen Abbaubarkeit  
Beispiele: Bio-Müllbeutel, Bio-Tragetaschen, Netze, Lebensmittelfolie, Blumenfolie, Luftpolsterbeutel (und weitere Füllstoffe für Verpackungen), Joghurtbecher, Getränkeflaschen, Teebeutel
- **Hygieneprodukte und Bekleidung**  
Beispiele: Babywindeln, Kosmetiktiegel, zur Faltenbehandlung (Unterspritzen tiefer Falten), Garn in der Bekleidungsindustrie,
- **Cateringartikel**  
Beispiele: Wegwerfgeschirr (nicht für heiße Speisen), z. B. Trinkbecher oder Strohhalme
- **Büroartikel**  
Beispiele: Kugelschreiber, Sparschwein
- **Verbundwerkstoff (also in Kombination mit anderen Materialien)**  
Beispiele: Aschekapseln für Urnen, Messergriffe, Sitzunterfläche von Bürostühlen

# Auftrag 1 c: Reaktion (Monomere – Polymere)

nur für 9./10. Klasse

Die Kunststoffe A und C unterscheiden sich in ihren Monomeren und Polymeren. Beschreibe dies mit Worten und Strukturformeln.

### Bewertungshinweis:

Verlangt werden keine tabellarischen Gegenüberstellungen, keine vollständigen Analysen und keine tiefgründigen Recherchen (z. B. zu den im Casein genau gebundenen Aminosäuren), sondern nur eine grobe Darstellung und ein grundlegendes Verständnis für die Unterschiede zwischen den Kunststoffen A und C. Die folgende Darstellung ist also umfassender als erwartet.

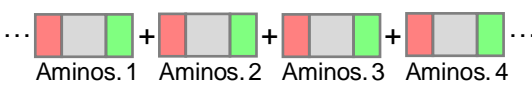

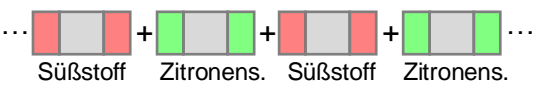
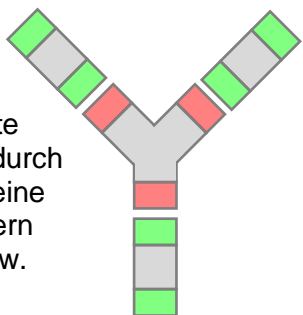
Die Ausarbeitung muss jedoch drei Kriterien erfüllen:

- Eingehen auf Monomere und Polymere,
- Darstellung in Worten und wenigstens teilweise mit Strukturformeln,
- Bezug zu den Kunststoffen A und C.

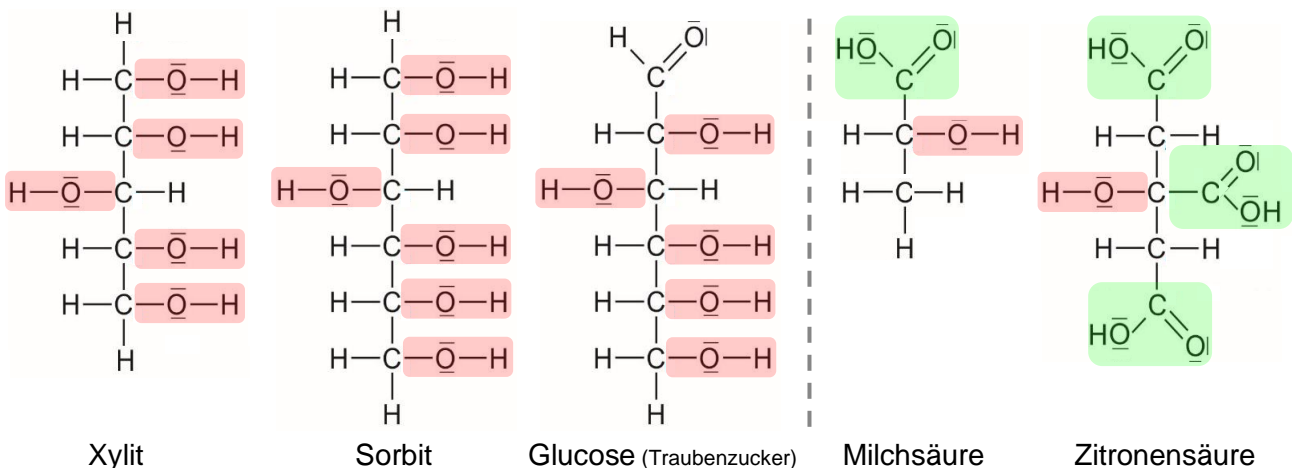
Es ist maximal 1 Punkt erreichbar, wenn eines der drei Kriterien nicht erfüllt ist, z. B. wenn nur auf die Monomere und nicht auf die Polymere eingegangen wird. Anstelle der Zitronensäure kann auch die Milchsäure betrachtet werden, da diese im Aufgabentext erwähnt wird.

Polymere sind sehr große Moleküle, die aus einer Vielzahl kleiner, gleichartiger, miteinander verknüpfter Einheiten gebildet werden. Diese kleinen Einheiten heißen Monomere und enthalten funktionelle Gruppen, so dass sie durch chemische Reaktion zu Polymeren miteinander verbunden werden können.

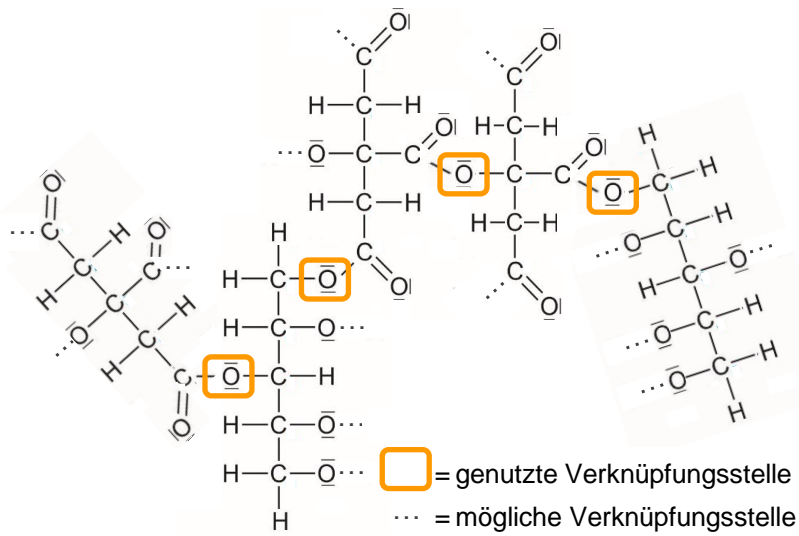
	Kunststoff A	Kunststoff C
<b>Mono- mere</b>	<p>Aminosäuren mit folgendem prinzipiellen Aufbau:</p>	<p>zwei Monomere:</p> <p>Die einzelnen Moleküle sind unterhalb der Tabelle abgebildet.</p>
<b>Verknü- pfung</b>	<p>durch Polykondensation,</p>	
	<p>also durch eine vielfach ablaufende Reaktion der Monomere, die mind. zwei funktionelle Gruppen tragen und dadurch in der Lage sind, sich unter Abspaltung eines kleineren Moleküls (hier: H<sub>2</sub>O) miteinander zu verbinden. Die Molekülteile, die das Abspaltungsprodukt Wasser ergeben, sind in den obigen Strukturformeln orange umrandet. Da dies vielfach geschieht, entstehen langkettige bzw. verzweigte Moleküle, die Polymere.</p>	
	<p>Im Polymer erhält man eine Carbonsäureamidbindung, im Falle von Aminosäuren als Peptidbindung bezeichnet. Das Polymer wird Polypeptid genannt.</p>	<p>Im Polymer erhält man eine Esterbindung. Das Polymer wird Polyester genannt.</p>

	<p>Die funktionellen Gruppen, die unter Abspaltung von H<sub>2</sub>O miteinander verbunden sind, sind die Aminogruppe (rot unterlegt) und die Carboxygruppe (grün unterlegt).</p> 	<p>Die funktionellen Gruppen, die unter Abspaltung von H<sub>2</sub>O miteinander verbunden sind, sind die Hydroxygruppe (rot unterlegt) und die Carboxygruppe (grün unterlegt). Die Süßstoffmoleküle tragen mehrere Hydroxygruppen, die Zitronensäure sogar beides, also sowohl Hydroxy- als auch Carboxygruppen (analog: Milchsäure). Daher sind zwei Verknüpfungsarten denkbar:</p> <p>① zwischen Zitronensäure-Molekülen:</p>  <p>② Süßstoff- mit Zitronensäure-Molekül:</p>  <p><i>Von den Wettbewerbsteilnehmenden wird nur eine Verknüpfungsart erwartet.</i></p>																														
<p><b>Poly-mere</b></p>	<p>Die Polymere liegen bereits in der Milch vor und werden durch Essigzusatz ausgefällt, wobei sich nur deren räumliche Anordnung (Konformation), aber nicht die Aminosäure-Sequenz im Polymer ändert.</p>	<p>Im Gegensatz zu Kunststoff A werden die Polymere hier erst in der Reaktion, die im Backofen stattfindet, gebildet.</p>																														
	<p>Casein selbst ist schon eine Mischung verschiedener Polymere (Proteine):</p> <table border="0" data-bbox="279 1086 790 1220"> <tr> <td>αS1-Casein</td> <td>199</td> <td rowspan="4">} Anzahl gebundener Aminosäure-einheiten</td> </tr> <tr> <td>αS2-Casein</td> <td>207</td> </tr> <tr> <td>β-Casein</td> <td>209</td> </tr> <tr> <td>κ-Casein</td> <td>169</td> </tr> </table> <p>Die am stärksten vertretenen Aminosäuren im Casein haben folgenden Anteil:</p> <table border="0" data-bbox="279 1310 837 1534"> <tr> <td>Glutaminsäure</td> <td>23,0 %</td> <td>(in g pro 100g Protein)</td> </tr> <tr> <td>Prolin</td> <td>11,2 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Leucin</td> <td>10,4 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valin</td> <td>6,8 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tyrosin</td> <td>6,0 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lysin</td> <td>8,3 %</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Asparaginsäure</td> <td>7,3 %</td> <td></td> </tr> </table>	αS1-Casein	199	} Anzahl gebundener Aminosäure-einheiten	αS2-Casein	207	β-Casein	209	κ-Casein	169	Glutaminsäure	23,0 %	(in g pro 100g Protein)	Prolin	11,2 %		Leucin	10,4 %		Valin	6,8 %		Tyrosin	6,0 %		Lysin	8,3 %		Asparaginsäure	7,3 %		<p>Da alle Monomere mehr als zwei funktionelle Gruppen einer Sorte tragen, entstehen durch die Verknüpfung keine langkettigen, sondern dreidimensional bzw. räumlich vernetzte Moleküle.</p>  <p>Ein Beispiel wird unterhalb der Tabelle skizziert. Bei den Süßstoffmolekülen reagieren übrigens bevorzugt die endständigen Hydroxygruppen.</p>
αS1-Casein	199	} Anzahl gebundener Aminosäure-einheiten																														
αS2-Casein	207																															
β-Casein	209																															
κ-Casein	169																															
Glutaminsäure	23,0 %	(in g pro 100g Protein)																														
Prolin	11,2 %																															
Leucin	10,4 %																															
Valin	6,8 %																															
Tyrosin	6,0 %																															
Lysin	8,3 %																															
Asparaginsäure	7,3 %																															

Monomere zu Kunststoff C (D-L-Enantiomere sind hier irrelevant):



Das Polymer zu Kunststoff C am Beispiel Xylit und Zitronensäure (fachsprachlich: Citronensäure, systematisch nach IUPAC: 2-Hydroxypropan-1,2,3-tricarbonsäure) könnte dann z. B. wie folgt aussehen:



**Anmerkungen:**

Dass bei Kunststoff C auch eine Verknüpfung zwischen Zitronensäure- und Süßstoffmolekülen (in der Tabelle mit ☉ bezeichnet) stattfindet, sieht man daran, dass sich die Produkte aus Zitronensäure mit und ohne Süßungsmittel voneinander unterscheiden. Im Falle von Traubenzucker wird dies ganz offensichtlich: Wenn man die Edukte alleine erhitzt, entsteht in den ersten 10 Minuten keine merkliche Veränderung. Auch in Auftrag 3 wird sichtbar, dass sich das Produkt, das aus einem einzigen Monomer gebildet wird, schneller in Wasser löst als das Polykondensat aus Zitronensäure plus Süßungsmittel.

Selbstverständlich können zahlreiche Nebenprodukte (durch Zerfall oder Oligomerisierung), wie sie auch beim Karamellisieren oder Backen gebildet werden, entstehen.

## Auftrag 2: Renovierung (Upcycling)

„Aus Alt mach Neu“: Deine Kreativität ist gefragt!

Mit „Upcycling“ kannst du einen Beitrag zur Wiederverwertung leisten: Suche dir zu Hause einen Kunststoffgegenstand aus, den du entsorgen möchtest, und erzeuge daraus ein interessantes Produkt mit neuer Funktion. Setze dabei auch einige der selbst hergestellten Kunststoffe A bis D ein.

Preise dein Produkt zudem durch ein Foto samt Werbeslogan an.

### **Bewertungshinweis:**

Erwartet wird, dass der Ausgangsgegenstand hauptsächlich aus Kunststoff (z. B. Gummi) besteht und eine zentrale Funktion im daraus gebildeten Produkt hat. Das neue Produkt kann durchaus ein Verbund verschiedener Materialien sein. Zudem sollen hierfür mindestens zwei der Kunststoffe A bis D eingebunden werden, z. B. zum Verkleben (Kunststoff B) oder als Schutzdämpfer (Kunststoff D). Neben der Beschreibung der Herstellung des Upcycling-Produkts werden auch dessen Originalität sowie das Foto samt Werbeslogan in die Bewertung mit einbezogen.

Der Kreativität sind keine Grenzen gesetzt. Schon beim Googeln des Begriffs „Upcycling“ erhält man eine Fülle an Ideen, wie folgender Auszug zeigt. Sehr häufig trifft man auf die Verwendung des alten Gegenstands als Blumentopf, Vase, Kerzenständer, Gießkanne oder zur Dekoration, gelegentlich auch als Sitzgelegenheit. In vielen Fällen wählt man Plastikflaschen als Ausgangsgegenstand.



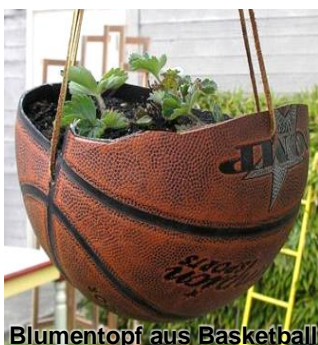
Blumentopf aus Altreifen



Blumentopf aus Gummistiefel



Blumentopf aus PET-Flaschen



Blumentopf aus Basketball



Täschchen aus Duschtube



Deko-Tier aus Ü-Ei



Lampenschirm aus Waschmittelflasche



Sessel aus Mülleimer



Sitzkissen aus PET-Flaschen



Zeitungsständer aus PET-Flaschen



Kerzenständer aus PET-Flaschen



## Auftrag 3a: Recycling (Trennung nach Dichte)

Für das Recycling der im Gelben Sack durcheinandergewirbelten Kunststoffe ist zuerst deren Trennung erforderlich. Entwickle und erprobe ein Verfahren, um Kunststoffe – soweit möglich – nach steigender Dichte zu ordnen. Verwende hierfür verschiedene Kunststoffstückchen aus dem Gelben Sack (z. B. aus PP, PS, PET) und danach einige der selbst hergestellten Kunststoffe A bis D.

### **Bewertungshinweis:**

Für die Untersuchung werden erwartet:

- mindestens drei verschiedene Kunststofftypen aus dem Gelben Sack  
*Beispiel: Die Untersuchung von zwei PE-Proben und einer PP-Probe führt zu maximal 1 Punkt.*
- mindestens zwei der selbst hergestellten Kunststoffe A bis D  
*Der Klebstoff (Kunststoff B) fällt aus der Untersuchung schon heraus.  
Dass sich Kunststoffe C und D teilweise nur unter Einschränkung und unter Veränderung der Dichte aus der Alu-Hülle bringen lassen (s. Durchführung), wird in der Bewertung nicht negativ bedacht.*
- mindestens drei verschiedene Flüssigkeiten  
*Beispiele: Wasser / ungesättigte Kochsalzlösung / gesättigte Kochsalzlösung  
oder Wasser / Kochsalzlösung / Sonnenblumenöl.  
Verschieden konzentrierte Kochsalzlösungen werden also als unterschiedliche Flüssigkeiten gewertet. Aufgrund des Gefahrenpotenzials wird keinesfalls ein leichtflüchtiges organisches Lösungsmittel (wie Spiritus) verlangt, auch wenn hier im Erwartungshorizont kurz darauf eingegangen wird.*

### *Durchführung:*

Die Kunststoffstückchen werden in verschiedene Flüssigkeiten gelegt und ihr Schwimmverhalten untersucht. Zunächst werden Wasser und Kochsalzlösungen verschiedener Konzentration gewählt, wobei man die Konzentration einfach dadurch variieren kann, dass man eine gesättigte Kochsalzlösung herstellt und diese in verschiedenen Stufen verdünnt.

spezielle Hinweise zu Durchführung und Beobachtung:

- Als Öl, das in der folgenden Tabelle genannt wird, eignet sich ein Pflanzenöl (wie Sonnenblumen- oder Olivenöl) genauso gut wie ein Baby-Pflegeöl oder Maschinenöl.
- Je nach Form der Kunststoffstücke und je nach verwendeter Flüssigkeit kann es vorkommen, dass diejenigen Kunststoffe, die sich in ihrer Dichte kaum von der Flüssigkeit unterscheiden, entweder schweben oder langsam auf den Boden sinken. Dies wird in der Tabelle mit → bzw. ↓ symbolisiert.
- Dem Wasser kann man ein paar Tropfen Spülmittel hinzufügen, um die Oberflächenspannung zu verringern, da diese evtl. für die Untersuchung des Schwebeverhaltens hinderlich sein kann.
- Beim Caseinkunststoff (Kunststoff A) beeinflusst die verwendete Milch die Dichte, so dass der Kunststoff entweder auf Wasser schwimmt oder untergeht. Daher weist der Pfeil in der Tabelle nach oben und nach unten.
- Das Polykondensat aus Zitronensäure und Süßstoff (Kunststoff C) zersetzt sich mit der Zeit. Je nachdem, wie viele Tage zwischen Herstellung und Dichteuntersuchung liegen, kann es schwierig werden, diesen Kunststoff in die Flüssigkeiten zu geben. Hier wird großzügig bewertet.
- Vor allem beim Schaumstoff (Kunststoff D) geschieht es schnell, dass man ihn beim Herausnehmen aus der Alu-Hülle zusammendrückt und er dann – bedingt durch die Klebrigkeit – in diesem Zustand verbleibt, was zwangsläufig die Dichte beeinflusst. Auf die Bepunktung hat dies keinen Einfluss.

Beobachtungen:

		<i>abnehmende Dichte</i> →			
Kunststoff	Dichte [g/mL] (Literaturwerte)	gesättigte Kochsalzlösung	Wasser	Öl (Pflanzen-, Baby-, Maschinenöl)	Spiritus oder Nagellackentferner
		1,18	1,0	0,90-0,92	0,83 Spiritus 0,79 Aceton (rein) 0,90 Essigester (rein)
PET / PVC	1,38	↓	↓	↓	↓
PMMA	1,18	→ bzw. ↓	↓	↓	↓
PS	1,05	↑	→ bzw. ↓	↓	↓
PE	0,91-0,97	↑	↑	→ bzw. ↓	↓
PP	0,90	↑	↑	→ bzw. ↓	↓
Styropor	<0,1	↑	↑	↑	↑
Kunststoff A		↑	↑ bzw. ↓	→ bzw. ↓	↓
Kunststoff C		→ bzw. ↓	↓	↓	↓
Kunststoff D		↑	↑	↑	↑

Anmerkung:

Oben sind nur einige der typischen Kunststoffe im gelben Sack genannt. Nicht verlangt wird der folgende Vergleich mit den Kunststoffen aus den Ausgangsstoffen (Süßungsmittel bzw. Zitronensäure) alleine:

aus Süßstoff		↓	↓	↓	↓
aus Zitronensäure		↓	↓	↓	↓

Erläuterung der Symbole:

- ↓ geht unter (sinkt auf Gefäßboden)
- ↑ schwimmt auf Oberfläche
- schwebt

PET = Polyethylenterephthalat  
 PVC = Polyvinylchlorid  
 PMMA = Polymethylmethacrylat  
 PS = Polystyrol  
 PE = Polyethylen (Polyethen)  
 PP = Polypropylen (Polypropen)

Fazit:

<i>abnehmende Dichte</i> →						
PET/PVC/Kunststoff C	PMMA	PS	Kunststoff A	PE/PP	Styropor/Kunststoff D	

- Mit Hilfe von gesättigter Kochsalzlösung, Wasser und Öl erhält man die dargestellte Reihenfolge und eine Unterteilung in verschiedene Gruppierungen. PET, PVC und Kunststoff C lassen sich dabei i. A. nicht weiter differenzieren. Gleiches gilt sowohl für PE und PP als auch für Styropor und Kunststoff D.
- Die Hinzunahme einer alkoholhaltigen Flüssigkeit (wie Spiritus oder Klosterfrau Melisseegeist mit einem Ethanolanteil von 79 Vol-%) oder eines Nagellackentferners (mit Aceton oder Essigester) liefert zunächst keinen nennenswerten Beitrag für die Einteilung der Kunststoffe.
- Konsequenz für die Entsorgung:  
 Diejenigen Kunststoffabfälle, die sich nicht sofort in Wasser lösen, könnten über ihre Dichteunterschiede mit Hilfe von Wasser und Kochsalzlösungen in drei Gruppen getrennt werden. Auf dieser Basis könnte man in der Praxis des Kunststoff-Recyclings oben schwimmende Teile abschöpfen und unten liegende Teile mit einem Rechen o. Ä. vom Boden entfernen.

Die Kunststoffe, die in den oben genannten Flüssigkeiten ein ähnliches Verhalten zeigen, lassen sich manchmal weiter unterscheiden. Zum Teil gelingt es, indem man die Geschwindigkeit beim Herabsinken auf den Gefäßboden betrachtet: Geschieht dies langsam und schwebend, ist die Dichte des Kunststoffs geringer als bei einem sofortigen Untergang der Probe.

Bei anderen Kunststofftypen ist eine weitere Differenzierung knifflig und wird von den Wettbewerbsteilnehmenden nicht erwartet.

Beispiel:

Für eine Unterscheidung von PE und PP wird im Folgenden ausgenutzt, dass beide Kunststoffe in Wasser untergehen, hingegen in Spiritus obenauf schwimmen. Daher wird durch sukzessive Zugabe von Wasser zu Spiritus versucht, die Kunststoffe zum Sinken zu bringen und eine Unterscheidung durch die Menge des zugefügten Wassers zu erreichen. Lediglich bei einem Verhältnis von 2 : 5 (zwischen Wasser und Spiritus) zeigen PE und PP ein voneinander abweichendes Verhalten:

	Spiritus	50 mL Spiritus +				Wasser
		10 mL Wasser	20 mL Wasser	30 mL Wasser	40 mL Wasser	
PE	↓	↓	→	→	↑	↑
PP	↓	↓	↓	→	↑	↑

**Anmerkungen:**

- Je nach Flüssigkeit kann es passieren, dass sich die Kunststoffe verändern oder gar darin lösen. So werden die Wettbewerbsteilnehmenden experimentell feststellen, dass sich Kunststoffe C und D (mit unterschiedlicher Geschwindigkeit) in Wasser lösen, die Schaumstoffe sogar unter Zischen (Gasbildung). Der Casein-Kunststoff (Kunststoff A) dagegen löst sich so gut wie nicht in Wasser auf. Lässt man ihn zwei Tage darin liegen, erhält das Wasser jedoch eine leichte Trübung (s. Foto).



Die unzureichende Beständigkeit gegenüber Wasser schränkt sofort einige Einsatzbereiche dieser Kunststoffe ein und wirkt sich folglich auf die in Auftrag 4 erwartete Bewertung aus.

Weitere Beispiele: PS-Stückchen verändern sich im Nagellackentferner. Enthält er Aceton, wird die Probe brüchig und matt; enthält er Essigsäureethylester (Essigester) wird sie zähflüssig und klebrig, so dass sich Fäden aus der Masse ziehen lassen (s. Foto). Im Nagellackentferner mit Essigester verändert sich auch Kunststoff C: Er wird klebrig und im Volumen kleiner. Das Produkt aus Zitronensäure alleine löst sich sogar auf.



## Auftrag 3b: Recycling (Recycling-Probleme)

Informiere dich, welche ökologischen Probleme beim Recycling von Kunststoffen in der Praxis entstehen, und berichte.

### **Bewertungshinweis:**

Erwartet wird die grobe Darstellung von mindestens drei verschiedenen Problemen, davon mindestens eines ausführlicher.

### **Vorbemerkung:**

Prinzipiell werden mehrere Verfahren zur Verwertung von Kunststoffabfällen unterschieden:

- werkstofflich (Verarbeitung zu neuen Formteilen und Produkten, z. B. durch Einschmelzen),
- rohstofflich (Aufspaltung der Makromoleküle in kleinere Moleküle und deren Nutzung als Rohstoff),
- energetisch (Verbrennung mit dem Ziel der energetischen Nutzung, z. B. in Form von Wärme).

Allein in Deutschland fallen jährlich über 6 Mio. Tonnen Plastikmüll an, pro Bürgerin und Bürger also im Umfang von etwa einem durchschnittlichen Körpergewicht. Wenn nicht gegengesteuert wird, wird sich die Plastikverschmutzung bis 2050 weltweit vervierfachen. Es wird also angestrebt, dass sich die Wettbewerbsteilnehmenden der Probleme beim Recycling bewusst werden.

Empfehlenswert ist der ARD-Dokumentarfilm „Die Recyclinglüge“ (aus dem Jahr 2022), aus dem einige Argumente übernommen worden sind.

- **fehlende Eigenverantwortung**  
Die Bürgerinnen und Bürger sind ein wichtiges Element der Recyclingkette, da sie selbst für die Vorsortierung des Mülls, der in den Gelben Sack gehört, verantwortlich sind. Dies geschieht nicht immer ordnungsgemäß und erschwert dann das Trennverfahren.
- **schwieriges Trennverfahren**  
Da sämtliche Kunststoffsorten im Gelben Sack gemischt werden, ist deren Trennung in der vorhandenen riesigen Müllmenge nicht vollständig zu meistern. Auch Färbungen, Folienummantelungen oder Zusätze (wie Weichmacher) erschweren oder verhindern oft das Recycling.
- **Downcycling als werkstoffliche Verwertung mit großen Einbußen**  
Bei der werkstofflichen Wiederaufbereitung der Kunststoffe (s. o.) entsteht ein minderwertiger Rohstoff, insbesondere aufgrund der Verfärbungen oder der Verkürzung der Polymerketten. Mit diesem Rohstoff können folglich nur minderwertige Produkte hergestellt werden, z. B. Eisenbahnschwellen, Schallschutzwände oder Parkbänke. Und selbst die gut gedachte Idee des Downcyclings ist nicht profitabel, da die Produkte oft anderweitig kostengünstiger erhältlich sind.
- **geringe Wiederverwertungsquote**  
Wenige Kunststoffsorten (wie etwa Polyethen) haben die Chance, nach ihrer Trennung wiederverwertet zu werden. Nur der geringere Teil des Plastikmülls aus dem Gelben Sack wird zu neuem bzw. im Downcycling zu weiterem Material verarbeitet. Der Aufdruck „recyclebar“ bedeutet also nicht zwangsläufig, dass der Kunststoff tatsächlich recycelt wird.
- **hauptsächlich energetische Verwertung und der damit verbundene Treibhausgasausstoß**  
Wegen der genannten Schwierigkeiten bei der werkstofflichen Verwertung wird der Kunststoffmüll stattdessen vorwiegend verbrannt (z. B. in Kraftwerken oder Hochöfen). Eine Müllverbrennungsanlage kann dann Haushalte und Industrie mit Strom und Wärme versorgen. So macht Müll inzwischen 70 % des Brennstoffs der deutschen Zementproduktion aus. Obwohl die dabei entstehende Energie genutzt und somit ein wesentlicher Beitrag zur Schonung fossiler Brennstoffvorräte (wie Kohle, Erdöl, Erdgas) geleistet wird, geht durch diesen „Zerstörungsprozess“ doch ein großes Potenzial der Kunststoffe verloren. Die riesigen Mengen an Treibhausgasen, die bei der Verbrennung entstehen, tragen zusätzlich zu einer kritischen ökologischen Bewertung bei.

- *fast keine rohstoffliche Verwertung*  
 Die rohstoffliche Verwertung, also die Spaltung der Polymere in kürzere Einheiten, kann großtechnisch noch nicht gewinnbringend eingesetzt werden und findet deshalb nur marginal statt.
- *Energie- und Wasserverbrauch*  
 Zur Trennung und Reinigung der Kunststoffe im gelben Sack ist ein hoher Einsatz an Energie und Wasser erforderlich – gerade dann, wenn man im Rahmen der werkstofflichen Verwertung die Qualität des Produkts steigern möchte. Dieser Verbrauch muss in Relation zu den erforderlichen Ressourcen, die für die Herstellung eines komplett neuen Kunststoffs notwendig sind, gesetzt werden.
- *Kosten (u. a. für Personal) und Zuschüsse*  
 Die Erzeugung sortenreinen Mülls erfordert - zusätzlich zu Energie und Wasser - einen hohen Einsatz an Personal, welches die Kunststoffe in einem letzten Schritt per Hand sortiert und Fremdstoffe abtrennt. In der Summe lohnt sich dieser Aufwand meist finanziell nicht. Das Neuplastik, das aus Öl oder Gas hergestellt wird, ist billiger als das aufwendig und teuer sortierte Recyclingplastik, das zudem noch minderwertiger ist. Welcher Produzent (z. B. von Kunststoffverpackungen für Lebensmittel) würde sich dann für das Recyclingprodukt entscheiden? In der Konsequenz lassen sich kaum Investoren finden, die das Recycling-Vorhaben industriell umsetzen. So manche Firma im Bereich der Müllverwertung musste schon Insolvenz anmelden. Die Kosten sind in der Praxis so astronomisch hoch, dass immense Zuschüsse – u. a. für die Sortieranlagen – vonnöten sind und bereitgestellt werden. Absurd wird es dann, wenn Fabriken, die den Plastikmüll als Heizstoff (im Rahmen der energetischen Verwertung) nehmen, dafür Geld erhalten statt zu zahlen.
- *Kunststoffproduzierende Industrie als Konkurrenz*  
 Für die Ölindustrie ist die Kunststoffproduktion ein wichtiges Betriebsfeld. Jährlich werfen diese Fabriken 400 Mio Tonnen Neuplastik auf den Markt – mit steigender Tendenz. Bis 2050 werden wohl 20% des gesamten Öls für die Kunststoffherstellung verwendet werden. Diese Industrie stellt mit ihren eigenen Interessen somit eine starke Konkurrenz zu dem Recycling-Netzwerk dar. Die Idee der Kreislaufwirtschaft wird sogar absurderweise zu Werbezwecken von der Plastikindustrie vorangetrieben und missbraucht, damit diese immer mehr Einwegverpackungen in die Welt bringen kann. Auf diese Weise werden Verbraucherinnen und Verbraucher getäuscht und im Glauben gelassen, einen wertvollen Beitrag zur Ökologie geleistet zu haben.
- *offizielle Verfrachtung des Mülls ins Ausland*  
 Fatalerweise gibt es eine Lösung, die noch billiger als Downcycling oder Verbrennung ist, nämlich den Müll in einen Container ins Ausland zu schicken; denn nach deutschem Recht gilt auch exportierter Müll als recycelt. Bis 2018 löste China jahrzehntelang preiswert das Entsorgungsproblem der Industriestaaten. Danach schlossen Entsorger Verträge mit oft dubiosen Abnehmern in anderen asiatischen Ländern. 2020 wurde die Türkei zum Hauptimporteuer für Europas Müll.
- *Schmuggel des Plastikmülls durch kriminelle Netzwerke und Konsequenzen für die Umwelt*  
 Je billiger ein Entsorgungsunternehmen das Recycling-Problem lösen kann, desto mehr Gewinn macht es. In einem solchen System gibt es immer wieder schwarze Schafe, die den Müll heimlich ins Ausland schmuggeln, beispielsweise versteckt in anders deklarierten Containern. Der Müll landet u. a. auf illegalen Deponien, wo er verbrannt wird, ohne die Energie zu verwerten und die giftigen Gase sowie den extremen Rauch aufzufangen. Es ist anzunehmen, dass das Recycling unter niedrigen Standards auch zu den relevanten Ursachen von Mikroplastik zählt, das über Flüsse und Wind in die weitere Umwelt verteilt wird und über Pflanzen und Tiere (v. a. Fische) in unseren Nahrungskreislauf gelangen kann. In einigen Literaturquellen wird überdies von mafiösen Strukturen gesprochen, da angeblich z. B. korrupte Beamte in Umweltministerien des Auslands von „Müll-Maklern“ bestochen werden sollen. Mit dem kriminellen Müllhandel würden riesige Summen verdient. Schätzungen gehen von rund 11-12 Mrd. Dollar weltweit aus.

## Auftrag 4a: Reflexion (Bewertung als Biokunststoffe)

Bewerte die selbst hergestellten Kunststoffe,  
 - inwiefern sie biobasiert sind und  
 - inwiefern sie ökologisch sinnvoll sind.  
 Führe beide Bewertungen ohne Experimente auf Basis einer Internetrecherche durch.

### Bewertungshinweis:

- Im Bereich „biobasiert“ wird die Betrachtung eines der folgenden drei Edukte erwartet: Milch, Zitronen- oder Milchsäure, verwendetes Süßungsmittel (insgesamt 1 Punkt). Eine Bewertung von Essig, Backpulver und Natron, die nicht die Grundlage der Kunststoffe bilden und als Hilfsstoffe aufgefasst werden können, wird also nicht verlangt.
- Im Bereich „ökologisch sinnvoll“ sollen mindestens zwei Faktoren (wie CO<sub>2</sub>-Bilanz oder Verrottung) untersucht werden, davon mindestens einer ausführlicher (insgesamt 1 Punkt).

## biobasiert

### Vorbemerkung zur Begriffsklärung:

Biobasierte Kunststoffe sind teilweise aus Biomasse hergestellte Kunststoffe. Biomasse beinhaltet die gesamte organische Substanz, die durch Pflanzen und Tiere anfällt oder erzeugt wird (mit Ausnahme von fossilem bzw. in geologischen Formationen eingebettetem Material). In der Praxis liefern meist Pflanzen (z. B. Mais, Zuckerrohr) die Rohstoffe für biobasierte Kunststoffe, während Stoffe aus dem Tierreich äußerst selten zum Einsatz kommen (ca. 1 %).

Um zu beurteilen, ob die selbst hergestellten Kunststoffe biobasiert sind, werden folglich die Edukte unter die Lupe genommen. Wie im Folgenden ersichtlich wird, lassen sich *alle* entscheidenden Ausgangsstoffe aus Biomasse gewinnen, was auch großtechnisch in der Praxis geschieht. Die eingesetzten Hilfsstoffe wie Backpulver und Natron sind irrelevant, da laut obiger Definition die Formulierung „*teilweise* aus Biomasse hergestellt“ anorganische Zusatzstoffe zulässt.

biobasiert? ↓		Erläuterung
Milch	ja	direktes tierisches Erzeugnis
Zitronensäure oder	ja	Zitronensäure lässt sich aus Zitrusfrüchten gewinnen (über eine Fällung von Calciumcitrat im alkalischen Milieu). Industriell stellt man sie heutzutage durch enzymatische Umwandlung zuckerhaltiger Rohstoffe wie Mais und Melasse (Zuckersirup aus Zuckerrohr oder Zuckerrüben) her.
Milchsäure	ja	Milchsäure kann zwar synthetisch auf der Basis petrochemischer Rohstoffe (Acetaldehyd) in einer Reaktion mit Blau- und Salzsäure hergestellt werden. 70-90 % der Weltproduktion erfolgt jedoch biotechnologisch, so dass man, wenn man an einem biobasierten Kunststoff interessiert ist, auf diesen Zweig der Milchsäureproduktion zurückgreifen würde. In der biotechnologischen Variante wird vor allem Stärke (aus Mais, Kartoffeln oder Getreide) oder Zuckerdicksaft (aus Zuckerrüben) vergoren.
Traubenzucker oder	ja	Traubenzucker (Glucose) wird industriell aus Stärke durch enzymatische Spaltung hergestellt, wobei als Stärkequelle pflanzliche Rohstoffe wie Mais, Kartoffeln, Reis oder Weizen verwendet werden.
Sorbit oder	ja	Der Großteil des Sorbits wird durch katalytische Hydrierung von Glucose erzeugt, die aus Biomasse (Mais- und Weizenstärke) gewonnen wird (s. o.).

<b>Xylit</b>	ja	Xylit wurde ursprünglich aus der Rinde der Birke gewonnen – daher der Name Birkenzucker. In der industriellen Herstellung werden als Rohstoffquellen v. a. Maiskolbenreste, Stroh, Getreidekleie oder Rückstände aus der Zuckerherstellung genutzt. Aus den Rohstoffen wird Xylose extrahiert, wobei die aus längeren Ketten bestehenden Kohlenhydrate zu Xylose gespalten werden, welche schließlich katalytisch zu Xylit hydriert wird.
<b>Essig</b>	ja	Speiseessig wird traditionell in biotechnischen Verfahren hergestellt, denen eine natürliche enzymatische Umsetzung (Fermentation) zugrunde liegt. Als Ausgangsstoffe dienen: - zuckerhaltige Flüssigkeiten (z. B. Traubensaft), - Getreidemaische (vorzugsweise aus gemälzter Gerste), - alkoholhaltige Flüssigkeiten (z. B. Wein, Apfelmost, Bier), - reiner destillierter Alkohol, der selbst wiederum durch Gärung aus Biomasse (meist zucker- oder stärkehaltige Feldfrüchte oder Produkte des Gartenbaus) gewonnen wird.
<b>Natron (Natriumhydrogencarbonat)</b>	nein	Natriumhydrogencarbonat erhält man beim Einleiten von Kohlenstoffdioxid in eine Natriumcarbonatlösung. Natriumcarbonat (Soda) wiederum stellt man im Wesentlichen aus Kochsalz her (z. B. mit Hilfe von Ammoniak und Kohlenstoffdioxid im Solvay-Verfahren oder aus der mittels Elektrolyse gewonnenen Natronlauge). Alle diese Ausgangsstoffe stammen nicht aus Biomasse.
<b>Backpulver</b>	nein	Backpulver ist eine Mischung, hauptsächlich bestehend aus einem Backtriebmittel und einem Säuerungsmittel. Beim Säuerungsmittel könnte man anstelle der oft verwendeten phosphathaltigen Stoffe auf die Bio-Alternative Weinstein, welches bei der Herstellung von Wein, Sekt und Prosecco in Form eines Salzes anfällt, zurückgreifen. Das als Backtriebmittel meist eingesetzte Natrium- oder Kaliumhydrogencarbonat jedoch ist anorganisch, was oben bereits am Beispiel von Natron analysiert worden ist (ähnlich beim Kaliumsalz).

## ökologisch sinnvoll

Vorteile in einer oder zwei Kategorien reichen normalerweise nicht aus, um eine ökologische Grundüberlegenheit der Biokunststoffe gegenüber den konventionellen, fossilbasierten Kunststoffen zu begründen. Man müsste alle Stufen, die ein Produkt durchläuft, hinsichtlich Energieaufwand und Umweltbelastung beurteilen, um die Ökobilanz des Produkts zu erhalten. Allerdings liegen für die Mehrzahl der Biokunststoffe aussagekräftige Betrachtungen zu Ökologie und Nachhaltigkeit aufgrund der Komplexität der Daten bisher nicht vor. Daher wird es umso verständlicher, dass die Wettbewerbsteilnehmenden für die selbst hergestellten Kunststoffe keine sichere Aussage treffen sollen, sondern lediglich zwei Faktoren beleuchten können.

### ▪ *Endlichkeit fossiler Rohstoffe*

Angesichts der Verknappung fossiler Rohstoffe ist die Forderung nach alternativen Rohstoffen, die langfristig zur Verfügung stehen, naheliegend. Dass die vier Kunststoffe A bis D biobasiert sind, ist also ihr größter Vorteil. (Dies bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass die Umweltauswirkungen in der Summe im Vergleich zu fossilbasierten Kunststoffen besser sein müssen.)

### ▪ *biologische Abbaubarkeit und Kompostierfähigkeit*

Die biologische Abbaubarkeit kann ebenfalls hinzugezogen werden, um den Beitrag zur Ökologie zu analysieren. Zunächst ist klar: Bei der Zersetzung biologisch abbaubarer Kunststoffe entstehen keine Sicherheitsrisiken. Polymilchsäure ist ein solches Beispiel eines biologisch abbaubaren Kunststoffs und wird ja (wie in Auftrag 1 b gesehen) gerade wegen dieser Eigenschaft in speziellen Bereichen eingesetzt, z. B. für Biomüll-Tüten. Dennoch gehört dieser Kunststoff nicht in die Bioabfallsammlung, sondern in die gelbe Tonne, da der biologische Abbau häufig erst ab einer bestimmten Temperatur eintritt oder zu lange dauert - ohne definierte Bedingungen (wie Mikroorganismen) sogar manchmal mehrere Jahre. Anders sieht es bei den Kunststoffen C (Polykondensat) und D (Schaumstoff) aus: Aufgrund der beim Dichte-Experiment (Auftrag 3) beobachteten schnellen Wasserlöslichkeit ist es sehr leicht, diese beiden Kunststoffe zu entsorgen. Es ist naheliegend, sie sogar zur Kompostierung zu nutzen; denn sie haben den Vorteil, dass sie rasch verrotten und damit nicht zur Vermüllung der Landschaft beitragen würden.

▪ *Wiederverwertung vs. Problem der Wasserlöslichkeit*

Aus Umweltschutzgründen sollte vorrangig das werkstoffliche Recycling (siehe Auftrag 3b) angestrebt werden. Biokunststoffe sind also meist (analog zu erdölbasiertem Plastik) umso umweltfreundlicher, je konsequenter sie im Kreislauf geführt werden. Allerdings steht der mehrmaligen Nutzung und Aufbereitung ein Materialverlust durch den biologischen Abbau gegenüber. Welche Verwertung (Kreislauf oder Abbau) die ökoeffizienteste ist, hängt jeweils von der Qualität des Abfalls ab, was man am Beispiel der Kunststoffe C und D eindeutig sieht: Aufgrund der hohen Wasserlöslichkeit ist ein Recycling, in welchem diese beiden Kunststoffe noch einmal aufbereitet würden, kaum umsetzbar.

▪ *rohstoffliche Verwertung*

Im Optimalfall würden sich die Kunststoffe C und D bei Hinzugabe zu einer wässrigen (sauren) Lösung in die Monomere Zitronensäure und Süßstoff zersetzen. Dann könnte man (nach Verdunsten des Wassers) die Monomer-Mischung theoretisch für eine erneute Kunststoffsynthese nutzen, insofern es überhaupt gelänge, vorher die Kunststoffe C und D im Recyclingverfahren auszusortieren.

▪ *unangemessenes Verhalten der Verbraucherinnen und Verbraucher*

- Das Betonen der Vorteile der Biokunststoffe kann bei den Verbraucherinnen und Verbrauchern den Anreiz zur Vermeidung von Abfällen verringern und zu erhöhtem Müllaufkommen beitragen.
- Hinweise auf biologische Abbaubarkeit können sogar zu einem sorglosen Umgang mit Abfällen verleiten und zu einer zunehmenden Vermüllung der Umwelt („Littering“) führen, weil man davon ausgeht, dass solcher Abfall bald verrotte und damit kein Risiko darstelle.
- Fehlwürfe landen in der Biotonne, obwohl sich manche Materialien (wie Polymilchsäure und evtl. Kunststoff A) zu langsam zersetzen.

Solchen Argumenten muss mit einer intensiveren Aufklärung begegnet werden.

▪ *Treibhausgase und ökologischer Fußabdruck*

Bei der mikrobiellen Zersetzung der Kunststoffe C und D wird zwar das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) frei. Im Gegenzug allerdings binden die Pflanzen, die man zur Gewinnung der Biomasse benötigt, bei ihrem Wachstum CO<sub>2</sub>. Daher werden nachwachsende Rohstoffe als klimaneutral eingestuft. Entsprechend gelten biologisch abbaubare Abfälle im Sinne des ökologischen Fußabdrucks (von welchem die CO<sub>2</sub>-Bilanz als Teil aufgefasst werden kann) als „neutral“ und gehen nicht gesondert in die Rechnung ein.

▪ *Luftverschmutzung*

Biokunststoffe setzen bei der Herstellung und Entsorgung keine toxischen Stoffe frei, integrieren sich leicht in natürliche Ökosysteme und scheinen daher keine direkten negativen Auswirkungen auf die Gesundheit von Menschen und von auf dem Land lebenden Tieren zu haben (höchstens Sekundäreffekte z. B. durch Treibhausgase oder Pestizideinsatz).

▪ *immense ökologische Belastung durch Milcherzeugung (Kunststoffe A und B)*

Die Milcherzeugung, eine Voraussetzung für die Kunststoffe A und B, ist mit vielen ökologischen Problemen verbunden:

- Methanausstoß der Kühe und damit Beitrag zur weltweiten Treibhausgasemission (s. u.)
- Bedarf an Futter (z. B. Gras, Heu) und Energie- sowie Wasserverbrauch für dessen Herstellung
- weiterer Wasserverbrauch für Reinigung und Kühlung der Milch
- Abwasserreinigung
- organischer Abfall aus den Produktionsanlagen

(In vielen landwirtschaftlichen Betrieben ist daher die Haltung von Milchvieh mit Pflanzenanbau gekoppelt: So können die eigenen Pflanzen direkt an die Tiere verfüttert und der Mist der Tiere wiederum als Dünger für den Pflanzenanbau verwendet werden. Gülle kann aber auch in den Prozess der Biogasbildung eingebracht werden: In einem Gärbehälter wird energiereiches Biogas erzeugt, das zur Energienutzung - in Form von Strom und Wärme - verbrannt wird.)

Daneben spielen natürlich gravierende ethische Fragestellungen bei der Verwendung von Milch ebenfalls eine Rolle, wie etwa das Fernhalten des Kalbs vom Muttertier.



- *Treibhausgase Methan und Lachgas (durch Milcherzeugung)*  
 Methan (CH<sub>4</sub>) ist ein wesentlich stärker wirkendes Treibhausgas als CO<sub>2</sub>. Es dauert zwar nur ca. 9 bis 15 Jahre, bis Methan auf natürliche Weise zerfällt – im Gegensatz zu 120 Jahren bei CO<sub>2</sub>. CH<sub>4</sub> wirkt aber etwa 25-mal stärker als CO<sub>2</sub> und trägt mit rund 20 % zum anthropogenen (durch den Menschen verursachten) Treibhauseffekt bei. Rund 30 % der weltweit emittierten Menge an Methan stammt aus der Viehhaltung, größtenteils aus Fermentationsprozessen im Magen von Wiederkäuern. Hinzukommt das sich in der Viehzucht bildende Lachgas (z. B. beim mikrobiellen Abbau der Exkremente), welches ein Treibhausgas mit einer sogar etwa 300-mal so großen Wirkung wie CO<sub>2</sub> ist. Daher ist die Verwendung von Milch als Ausgangsstoff eines Biokunststoffs (wie Kunststoffe A und B) aus ökologischer Perspektive auf den ersten Blick nicht zu befürworten.
- *Einsatz nicht mehr verwertbarer Milch*  
 Tatsächlich hat ein Unternehmen (Qmilk®) das Verfahren zur Galalith-Produktion wiederentdeckt und stellt aus Kuhmilch ein Biopolymer – ähnlich wie Kunststoff A – her. Hieraus werden u. a. Folien (z. B. für Verpackungen), massivere Gegenstände (z. B. Beißring für Babys) oder vielseitig einsetzbare, geruchlose und farblich variantenreiche Textilfasern produziert. Preislich liegt die MilCHFaser gleichauf mit Wolle. Die Idee: Das Unternehmen betont, ausschließlich auf solche Milch zurückzugreifen, die nicht mehr zum Verzehr geeignet ist. Allein in Deutschland sollen angeblich jährlich zwei Millionen Tonnen Milch weggeschüttet werden. Dabei handelt es sich um verunreinigte, meist sauer gewordene Milch aus dem Supermarkt, um Zentrifugat aus der Käserei oder um Milch aus Tierkliniken. Das Kunststoffgranulat hat einen weiteren Vorteil: Im Gegensatz zu herkömmlichen Kunststoffen, die erst bei knapp 200 °C schmelzen, kommt es mit weniger als der Hälfte der Temperatur und folglich mit weniger Energie aus. Und der Abfall, wie die Kleidungsstücke auch, lässt sich wohl recht einfach kompostieren.  
 Übrigens: Das Startup-Unternehmen wurde mit dem GreenTec Awards, einem der größten Preise für grüne Technologien, Initiativen und Unternehmen in Europa, ausgezeichnet.
- *Ackerflächenkonkurrenz und weltweite Ernährungssicherheit*  
 Für nachwachsende Rohstoffe als Grundlage biobasierter Kunststoffe (wie Kunststoffe C und D) ist landwirtschaftliche Ackerfläche erforderlich. Schon heute wachsen auf vielen Äckern Raps und Mais, um zu Treibstoffen verarbeitet oder in Biogastanks vergoren zu werden. Damit verbunden sind negative Effekte wie eine zunehmende Flächenrodung, eine Abholzung von Urwald oder eine Konkurrenz zum Pflanzenanbau für Nahrungsmittel („Teller oder Tank“-Diskussion). In der Nutzungskonkurrenz gilt heute die ethisch orientierte Reihenfolge „Food, Feed, Fiber, Fuel“: Zuerst sollen Biomassen der Ernährung von Mensch und Tier dienen (Food, Feed), danach erst sollen sie als industrielle Rohstoffe (Fiber) und zur Energieproduktion (Fuel) verwendet werden. Die landwirtschaftlich genutzten Flächen in Europa reichen nicht einmal aus, um den europäischen Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen einzig für die Energiegewinnung zu decken. Es erweist sich also immerhin als Vorteil, wenn sich die Ausgangsstoffe (wie im Falle von Xylit) aus Reststoffen (wie Maiskolbenreste oder Rückstände aus der Zuckerherstellung) synthetisieren lassen.
- *Ausbeutung der Böden, Versauerungs- und Eutrophierungspotential*  
 Der einseitige Anbau von „Industriepflanzen“ als Biomassenquelle, wie es für die Kunststoffe C und D der Fall wäre, trägt zur Ausbeutung der Böden und damit zum Verlust der Artenvielfalt bei. Da diese Pflanzen nicht im Lebensmittelbereich eingesetzt würden, ist davon auszugehen, dass man mehr Dünger, Pestizide und Insektizide verwenden würde. In der Folge wäre mit verstärkter Verschmutzung des Trinkwassers, Eutrophierung von Gewässern, sauren Böden und erhöhtem Insektensterben zu rechnen. Während konventionelle, fossilbasierte Kunststoffe mehr klimawirksames CO<sub>2</sub> freisetzen, äußert sich also der ökologische Fußabdruck biobasierter Kunststoffe z. T. im größeren Flächenbedarf und im höheren Versauerungs- und Eutrophierungspotenzial.
- *Qualität bzw. Langlebigkeit*  
 Letztlich beeinflusst die Qualität und Langlebigkeit der Kunststoffe eindeutig die ökologische Beurteilung, die von den Wettbewerbsteilnehmenden bezüglich der Kunststoffe A bis D nur ansatzweise gefällt werden kann: Kunststoff C ist klebrig (im Fall von Xylit als Monomer nimmt die Zähflüssigkeit der Oberfläche mit der Zeit sogar noch zu) und Kunststoff D (Schaumstoff) zerbricht leicht. Der Casein-Kunststoff A (ebenso wie Galalith) dagegen bleibt beständig und zersetzt sich äußerst langsam, so dass er einen größeren Anwendungsbereich als die Kunststoffe C und D verspricht.

## Auftrag 4b: Reflexion (Plakat mit Botschaft)

Erstelle für eine *Fridays for Future*-Demonstration den Entwurf eines Plakats. Sende hierauf eine Botschaft, die sich für dich aus der Wettbewerbsrunde ergibt, und erläutere. Verwende das Plakat als Deckblatt deiner Arbeit.

### **Bewertungshinweis:**

*In der Bewertung werden berücksichtigt:*

- *Wird das Plakat als Foto (auf dem Deckblatt) abgebildet?*
  - *Enthält das Plakat eine (naturgemäß knappe) Botschaft?*  
*Die Botschaft an sich kann, weil sie individuell und persönlich ausfällt, nicht bewertet werden.*
  - *Wird die Botschaft wenigstens kurz in der Ausarbeitung erläutert?*
- Ist eines der Kriterien nicht erfüllt, ist nur 1 Punkt erreichbar.*

## Quellen und Literaturhinweise

- [1] Experimentalwettbewerb „Experimente antworten“ (Bayern, Runde II, Schuljahr 2007/08)
- [2] LOTHAR KRAFT, MARTIN, RATERMANN (Hrsg.); „Chemie heute“; Westermann Verlag, Braunschweig (2022)
- [3] AKADEMIE FÜR LEHRERFORTBILDUNG UND PERSONALFÜHRUNG (Hrsg.); „Chemie? – Aber sicher!“, S. 18-1, 18-2, 18-18, 17-4 bis 17-6 und 18-11, Dillingen (2014)
- [4] FONDS DER CHEMISCHEN INDUSTRIE (Hrsg.); „Informationsserie Nachwachsende Rohstoffe“; Frankfurt, 2. Auflage (2022)
- [5] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (Hrsg.); „Nachwachsende Rohstoffe“; Hydrogeit Verlag, Oberkrämer (2010)
- [6] MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.); „Die Küche als Lernort für naturwissenschaftliche Erfahrungen“; Stuttgart (2013)
- [7] FRAUNHOFER INSTITUT (Hrsg.); „Bioökonomie in unserem Leben – warum, für was und für wen?“; Pfinztal (2020)
- [8] Franz-Josef Busch, Thomas Rosenthal, Daniel Zimbelius; „Wenn Roboter melken und Kühe Karussell fahren ... So wird Milch produziert“; VDMA Lamndtechnik Frankfurt und Klett MINT GmbH Stuttgart, 1. Auflage (2014)
- [9] TOM COSTELLO, BENEDIKT WERMTER; ARD-Dokumentarfilm „Die Recyclinglüge“ (20.06.2022)
- [10] Website des UMWELTBUNDESAMTES: <https://www.umweltbundesamt.de/biobasierte-biologisch-abbaubare-kunststoffe#39-bieten-verpackungen-aus-biologisch-abbaubaren-kunststoffen-vorteile> (Stand 7.10.2022)
- [11] PROJEKTLABOR CHEMIE DER TU BERLIN; Projekt Biokunststoffe: abrufbar unter <https://projektbiokunststoff.wordpress.com/2017/02/07/galalith-casein> (Stand 7.10.2022)
- [12] <https://www.milag.net/aminosaereen-in-milch> (Stand 7.10.2022)
- [13] <http://www.biokunststoffe.de> (Stand 7.10.2022)
- [14] <https://werkstoffzeitschrift.de/biokunststoffe-aus-polymilchsaeure> (Stand 7.10.2022)
- [15] <https://www.abfallmanager-medizin.de/themen/moeglichkeiten-der-sicheren-verwertung-kreislaufwirtschaft-neu-gedacht-nachhaltigkeit-im-krankenhaus/> (Stand 23.11.2022)
- [16] <https://www.starting-up.de/geschaeftsideen/gruenderstories/qmilk-anke-domaske.html> (Stand 23.11.2022)
- [17] <https://www.dw.com/de/methan-der-b%C3%B6se-zwillingsbruder-von-co2/a-49208882> (Stand 7.10.2022)
- [18] <https://www.umweltberatung.at/schwierigkeiten-beim-plastik-recycling> (Stand 8.11.2022)
- [19] Wikipedia (Stand 7.10.2022)

Quelle der Fotos aus Auftrag 2 (Upcycling) in derselben Reihenfolge wie im Erwartungshorizont:

- <https://einfaches-gaertnern.de/garten-diy/garten-upcycling-ideen/>
- <https://dental-team.de/life/hobbys/upcycling-trend-aus-alt-mach-neu/>
- <https://tesa-sugru.com/de/blog/tolle-ideen-wie-sie-ihre-sachen-aufwerten-und-neu-denken>
- <https://de.rayhaber.com/2021/12/Was-ist-Upcycling-und-die-Vorteile-von-Upcycling-f%C3%BCr-die-Umwelt-und-den-Einzelen>
- <https://geborgen-wachsen.de/2017/06/20/upcycling-aus-plastik-duschtuben-werden-taeschchen-und-boote/>
- <https://www.pinterest.de/pin/434949276490118949/>
- <https://blog.stepbystep-schulranzen.com/upcycling-idee-diy-elefanten-nachtlicht/>
- <https://www.pinterest.de/pin/181973641172430042/>
- <https://www.renovablesverdes.com/de/Upcycling/>
- <https://www.stilpalast.ch/living/inspirationen/kreatives-aus-pet-flaschen-2049>
- <https://www.diy-academy.eu/upcycling-mit-plastikmuell/>