Zu viel Plastik –
Auf der Suche nach einem Ausweg

Für Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 10

Enzyme gegen das Plastik-Problem?

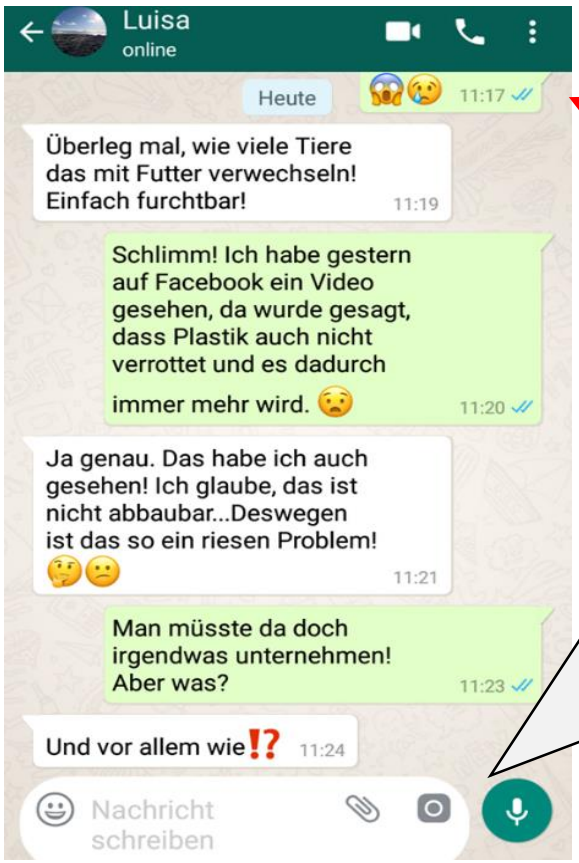
Recycling gegen das Plastik-Problem?

Sarah Fischer und Rebekka Heimann

Zu viel Plastik – Findest du einen Ausweg?

-Plasticfacts-

2015 wurden allein in Deutschland 5,92 Mio. Tonnen Plastikmüll produziert.[1] In der Chemie wird Plastik meist als Kunststoff bezeichnet.



Kunststoffmüll und seine Auswirkungen auf die Umwelt sind problematisch. In dem Chat mit Luisa wird dies am Beispiel des Kunststoffmülls im Meer deutlich. Du sollst heute verschiedene Ansätze kennenlernen, in denen man versucht dem Plastik-Problem zu begegnen. Denn um wirklich etwas unternehmen zu können, ist Hintergrundwissen nötig! Schaffst du es im Labor, so viel zu lernen, dass du einen Ausweg aus dem Plastik-Problem findest?

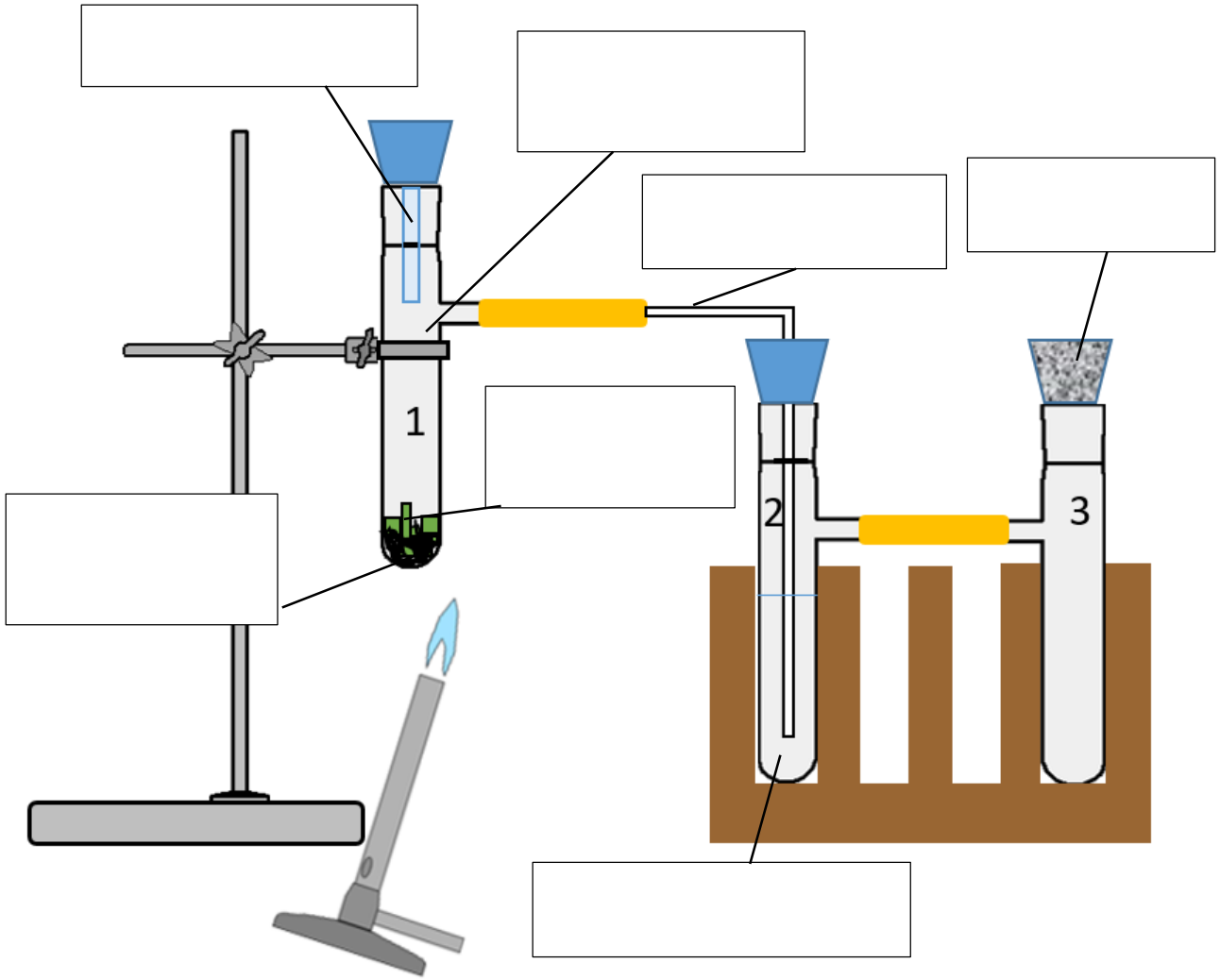
[1] mit Informationen aus: Struckemeier, Sieve und Kloppenburg (2015, S. 35)

Experiment: Kann Kunststoff abgebaut werden?

In dem Chat mit Luisa heißt es: „**Ich glaube, das ist nicht abbaubar…**“. Führe das Experiment durch, um herauszufinden, ob das wirklich stimmt.

Versuchsaufbau:

Beschrifte die Abbildung mit Hilfe der Versuchsanleitung.



Fakten-Box:

- Barytwasser bildet mit Kohlenstoffdioxid einen weißen Niederschlag.
- Wasser kann mit Watesmopapier durch eine dunkelblaue Färbung nachgewiesen werden.

Zu viel Plastik – Findest du einen Ausweg?

Vorbereitung:

- Gib ca. einen Daumen breit von dem *zerschnittenen Kunststoff* in das *Reagenzglas mit Ansatz* (Reagenzglas **Nr. 1**).
- Gib 5 Spatel fein gepulvertes *Kupfer(II)-Oxid* hinzu.
- Klemme das Reagenzglas **Nr. 1** in das Stativ.
- Befülle das zweite Reagenzglas mit Ansatz (**Nr. 2**) mit 15 ml *Barytwasser* und stelle es in einen Reagenzglasständer.
- Tauche das eine Ende des *gebogenen Glasrohrs* in das Barytwasser und verbinde es durch das Schlauchstück mit dem Ansatz des Reagenzglases **Nr. 1**.
- Nimm ein Stück *Watesmopapier* und klemme es mithilfe eines Stopfens an den oberen Rand des Reagenzglases **Nr. 1**.
- Verbinde den Ansatz des Reagenzglases **Nr. 2** über einen Schlauch mit dem Ansatz des Reagenzglases **Nr. 3**.
- Setze einen *Aktivkohle-Stopfen* auf Reagenzglas **Nr. 3**.
- Alle Verbindungsstücke und Stopfen müssen möglichst fest sitzen.

Versuchsdurchführung:

- Entzünde den Brenner und erhitze mit rauschender Flamme das Kunststoff-Kupferoxid-Gemisch so lange, bis sich weiße Dämpfe bilden und nur noch ein schwarz-roter Rückstand im Reagenzglas zu sehen ist.
  Nimm den Brenner dafür vorsichtig in die Hand und erhitze das Kunststoff-Kupferoxid-Gemisch im Reagenzglas schräg von unten.
- Stelle nun den Brenner aus.
- Lass die Apparatur nach Beenden des Experiments so stehen.

Beobachtung:

_____

_____

Auswertung:

a) Vervollständige die Wortgleichungen.

Polyethylen …reagiert zu… _____ und _____

Kupfer(II)-Oxid …reagiert zu… _____

Die ablaufende Reaktion nennt man _____.

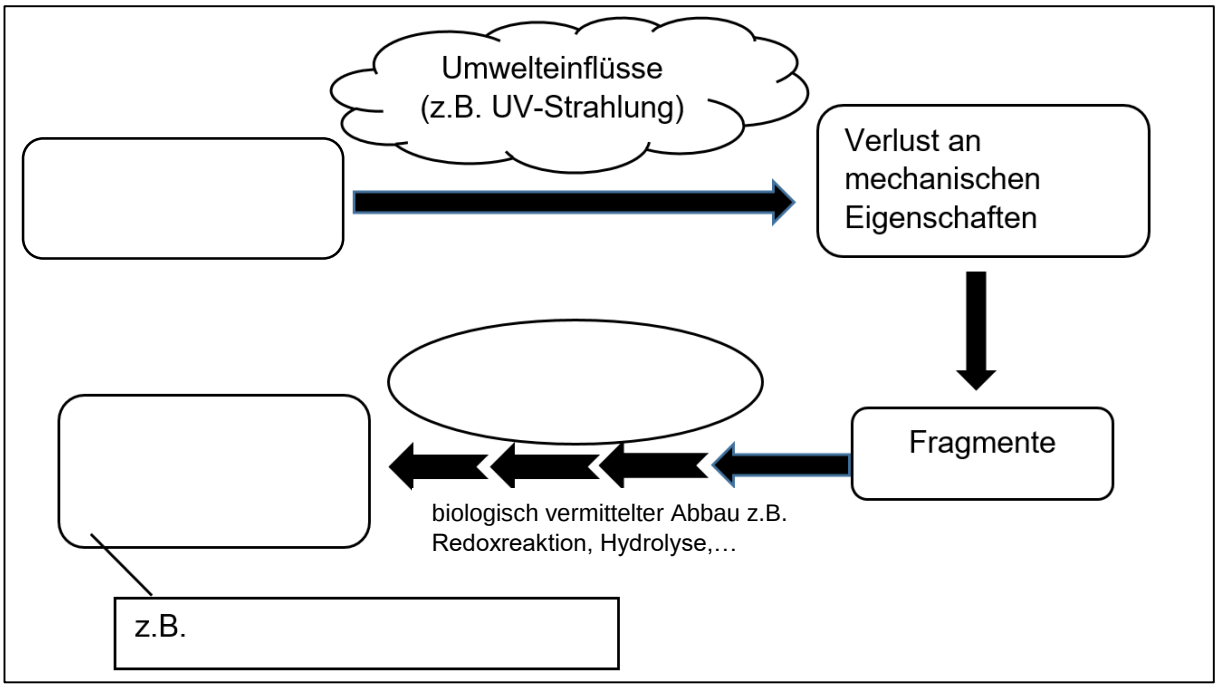
b) Ergänze den Lückentext

Kunststoffmoleküle bestehen hauptsächlich aus _____ –Atomen und _____ –Atomen. Je nach Kunststoffsorte können zusätzlich beispielsweise noch Sauerstoff-, Stickstoff- oder Chloratome vorhanden sein.

Schlussfolgerung:

Vervollständige das Flussdiagram[2] zum Abbau von Kunststoff am Beispiel von Polyethylen. Nutze dafür folgende Begriffe.

Polyethylen	450-500 Jahre
anorganische Moleküle	Kohlenstoffdioxid und Wasser



Der letzte Schritt eines solchen Abbaus wird *Mineralisierung* genannt. Dieser Prozess findet so bei allen Kunststoffarten statt, wobei die Dauer variiert.

Bewertung:

Hat Luisa mit ihrer Aussage „**Ich glaube, das ist nicht abbaubar…**“ recht? Begründe deine Antwort.

_____

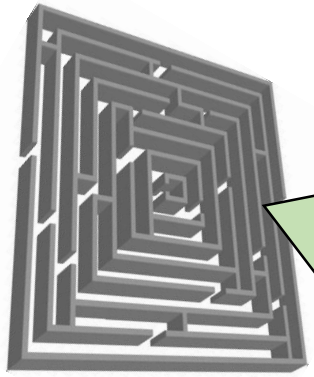
_____

_____

_____

[2] mit Informationen aus: Andrady (2015, S. 145-146)

Zu viel Plastik – Findest du einen Ausweg?



Das Problem ist deutlich: Zu viel Plastikmüll, zu viel davon in der Natur und zu lange Zeit, die es dort verbleibt. Begib dich nun auf die Suche nach einem Ausweg aus dem Plastik-Problem. Bearbeite dafür die verschiedenen Stationen. Die Reihenfolge ist dabei nicht wichtig. Lies die Aufgabenstellungen immer sorgfältig durch. Vielleicht findest du ja eine Lösung…

-Plasticfacts-

Es wurden Enzyme in Pilzen und Bakterien entdeckt, die langkettige Kunststoffmoleküle hydrolysieren können. Ein solches Enzym ist beispielsweise das sogenannte *CalB*, welches Kunststoffe wie PET hydrolysieren kann.[3]

Frequently Asked Questions…

Was heißt „hydrolysieren“ und wofür ist das Ganze gut?

Bei der Hydrolyse werden die langkettigen Moleküle unter Beteiligung von Wasser in kleinere Moleküle gespalten.

Diese können dann in die Zellen aufgenommen und weiter verstoffwechselt werden.[4] Abgesehen davon kann man, die entstandenen Moleküle auch isolieren und daraus wieder neue Kunststoffmoleküle herstellen. Normalerweise erfolgt diese Art von Recycling unter hohen Drücken und Temperaturen, was die Umwelt allerdings sehr belastet.

Durch den Einsatz von Enzymen kann der Abbau unter milderen Bedingungen stattfindet.[5] Dieses Verfahren ist also umweltschonender. Hierzu ist aber noch weitere Forschung nötig.

Um ein solches Recycling möglichst einfach und günstig durchführen zu können, sind leicht handhabbare Enzyme hilfreich. Ein solches Enzym ist zum Beispiel *CalB*, das aus dem Pilz *Candida antarctica* gewonnen werden kann.[6]

Experiment: Finde heraus, ob *CalB* den Kunststoff PCL hydrolysieren kann.

Fakten-Box:

- PCL findet hauptsächlich in der Medizin Anwendung (z.B. Wundkleber). Aber auch die sogenannten „Gorilla-Perlen“, die man zuhause als einfach formbare Modelliermasse benutzen kann, bestehen aus PCL.
- Aus „Gorilla-Perlen“ lassen sich Nanopartikel herstellen. Diese haben eine enorm große Oberfläche im Vergleich zu ihrem Volumen, was eine große Angriffsfläche für Enzyme bietet.

[3] mit Informationen aus: Wei und Zimmermann (2017b, S. 7)
[4] mit Informationen aus: Wei und Zimmermann (2017b, S. 2-3)
[5] mit Informationen aus: Wei und Zimmermann (2017a, S. 2)
[6] mit Informationen aus: Liu (2009, S. 2)

Enzyme gegen das Plastik-Problem?

Durchführung:

- Nutze das ausliegende Modell, um dich über die Funktionsweise eines Photometers zu informieren.

Woran kannst du erkennen, ob das PCL abgebaut wird? Kreuze an:

Im Falle der Hydrolyse… ☐… nimmt die Extinktion zu.

☐… bleibt die Extinktion gleich.

☐… nimmt die Extinktion ab.

- Verwende die ausliegende Versuchsanleitung für die Durchführung des Experiments. Nutze Wartezeiten, um die nachfolgenden Aufgaben zu bearbeiten.

Messdaten:

Fülle die Tabellen aus.

Versuchsansatz mit *CalB*	
Zeit [Minuten]	**Extinktion bei 600 nm**
0	
2	
4	
6	
8	

Gegenprobe ohne *CalB*	
Zeit [Minuten]	**Extinktion bei 600 nm**
0	
2	
4	
6	
8	

Auswertung: Wird PCL durch CalB hydrolysiert?

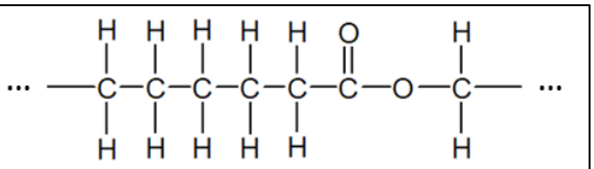
Frequently Asked Questions…

Bei der Hydrolyse werden langkettige Moleküle in kleinere Moleküle gespalten. Die Hydrolyse ist aber nicht bei allen Kunststoffen möglich. Was ist entscheidend dafür, dass die langkettigen Moleküle hydrolysiert werden können? Und wie läuft eine Hydrolyse genau ab?

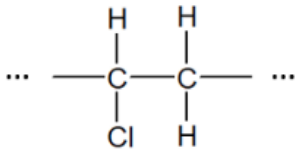
Bearbeite die folgenden Aufgaben, um diese Fragen beantworten zu können!

Aufgabe 1:

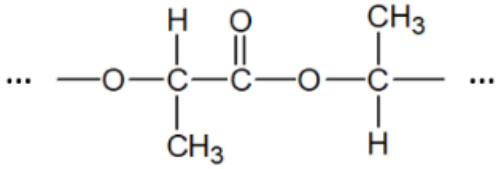
Unten sind Strukturformeln von Kunststoffen aufgezeichnet. Einige davon können hydrolysiert werden, Andere nicht.[7] Vergleiche die Strukturformeln. Markiere gleichartige Strukturelemente mit der gleichen Farbe.



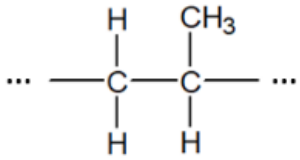
Polycaprolacton (PCL) → kann hydrolysiert werden



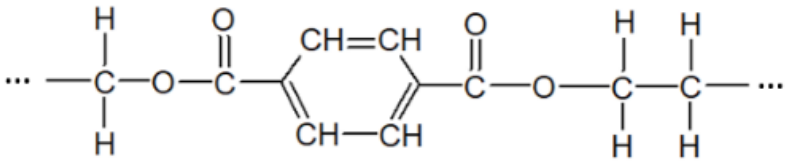
Polyvinylchlorid (PVC) → kann nicht hydrolysiert werden



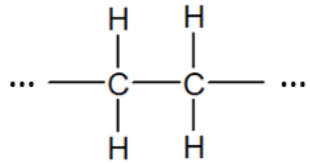
Polymilchsäure (PLA) → kann hydrolysiert werden



Polypropylen (PP) → kann nicht hydrolysiert werden



Polyethylenterephtalat (PET) → kann hydrolysiert werden



Polyethylen (PE) → kann nicht hydrolysiert werden

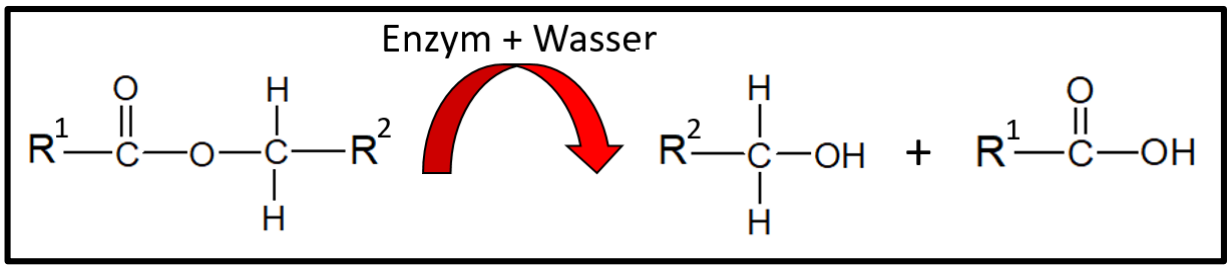
Welches Strukturelement ist dafür verantwortlich, dass der Kunststoff hydrolysiert werden kann?

Damit die langkettigen Moleküle durch Hydrolyse in kleinere Moleküle gespalten werden können, um diese dann recyceln zu können, muss sich das gerade herausgefundene Strukturelement in der Hauptkette des Kunststoffmoleküls befinden.

[7] mit Informationen aus: Wei und Zimmermann (2017b, S. 1-4)

Aufgabe 2:

Verwende das Schema, um den Lückentext zu ergänzen.



Bei der Hydrolyse von Kunststoffen durch Enzyme wird die

_____ gespalten. Es entstehen ein _____und

eine_____.

Deine Meinung ist gefragt: Ist die enzymatische Hydrolyse und das anschließende Recycling der dabei entstandenen kleineren Moleküle die Lösung für das Plastik-Problem?

☐ Ja

☐ Nein

☐ Teils

Kurze Begründung deiner Entscheidung:

_____

_____

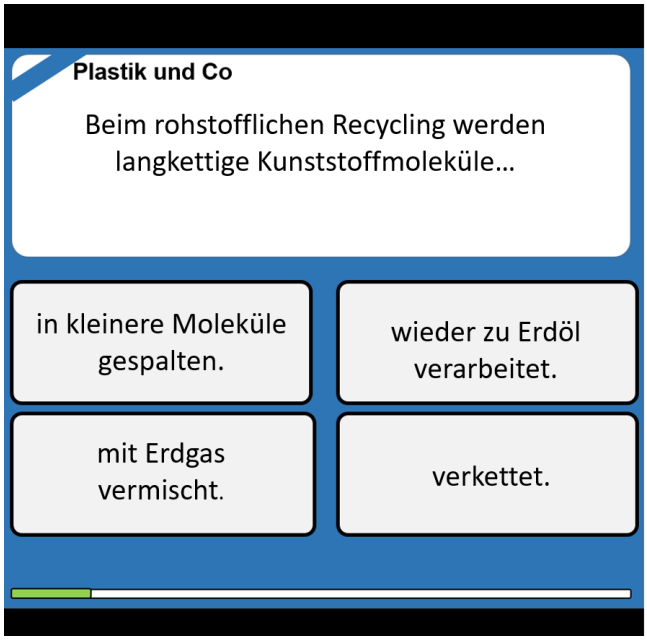
_____

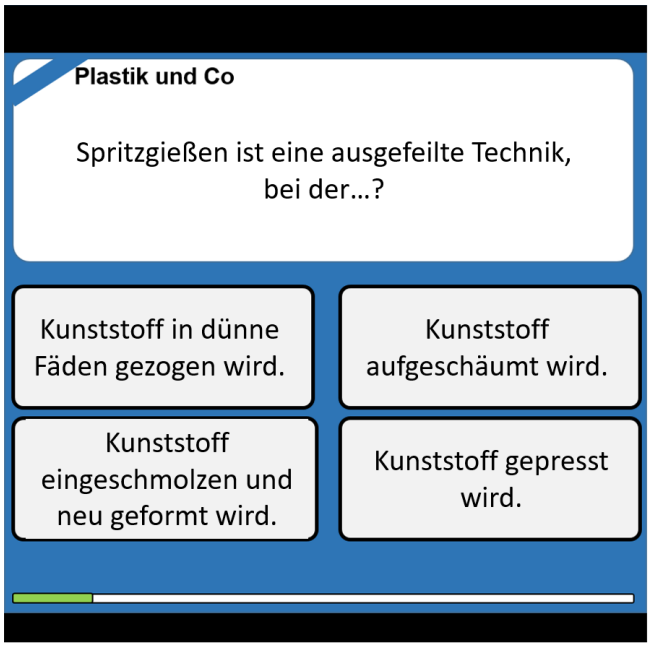
_____

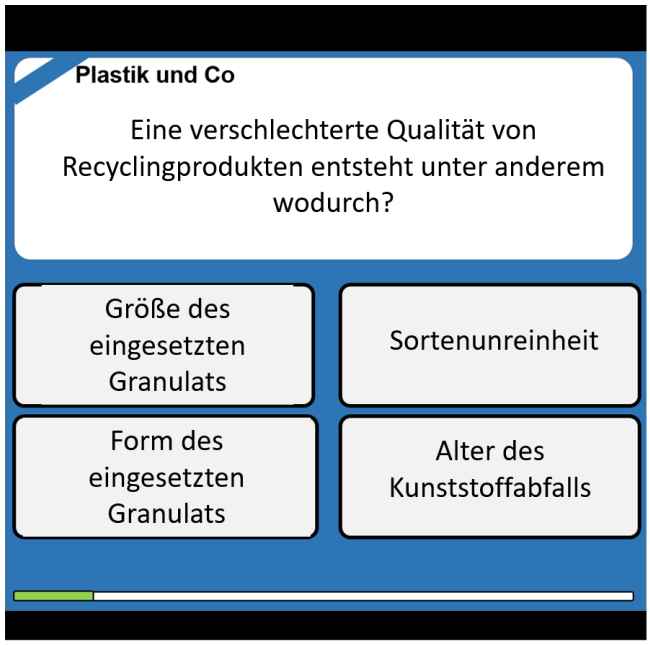
-Plasticfacts-

Die Menge an Kunststoffabfall in Deutschland stieg im Zeitraum von 1994 bis 2015 von 2,80 auf ca. 5,92 Mio. Tonnen. Das ist ein Anstieg von über 100 %.[8]

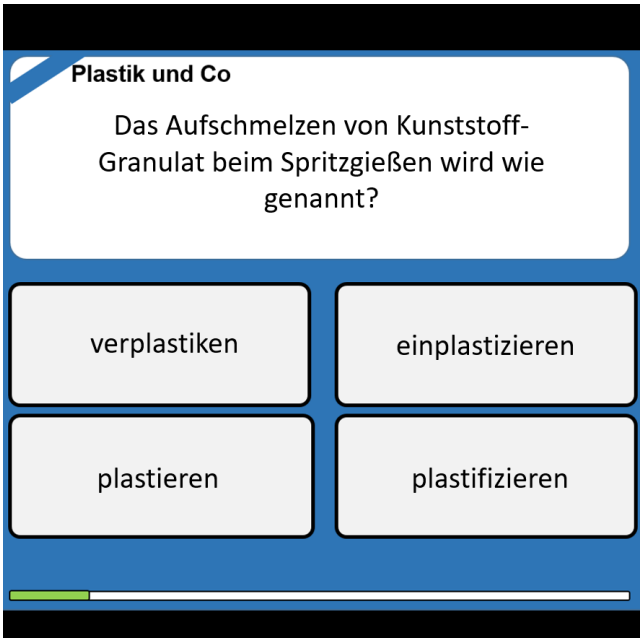
Schau dir das Video zum Recycling an und beantworte die Fragen. Kreise die richtige Antwort ein.







[8] mit Informationen aus: Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH (2016, S. 19)



Im Film wird betont, dass für ein gutes werkstoffliches Recycling über die Spritzgießmethode sortenreines Ausgangsmaterial wichtig ist. Finde im nachfolgenden Experiment heraus warum.

Experiment: Warum ist Sortenreinheit wichtig?

Vorbereitung:

- Fette den Plätzchenausstecher aus Metall sorgfältig mit Creme ein.
- Fette die Fläche der Alufolie (ca. 10 cm x 10 cm) ebenfalls ein.
- Leg die Ausstechform auf die Alufolie und fülle sie mit **einer Sorte** Plastik. Die Form muss gleichmäßig und mindestens halbhoch gefüllt sein.
- Nimm die Alufolie vorsichtig mit zwei Händen so hoch, dass kein Plastik aus der Ausstechform rutscht.
- Lege die Folie samt gefüllter Ausstechform auf die Heizplatte.

Versuchsdurchführung:

- Schalte die Heizplatte ein (volle Heizleistung).
- Warte, bis das Plastik komplett geschmolzen ist.
- Schalte dann die Heizplatte aus und nimm die Ausstechform hinunter, indem du die Alufolie mit zwei Pinzetten vorsichtig anhebst.
- Achte darauf, dass die Ausstechform nicht verrutscht und das Plastik nicht hinausfließt.
- Lege die Alufolie samt Ausstechform auf den Labortisch und lass alles abkühlen.
- Wenn die Ausstechform abgekühlt ist, zieh vorsichtig die Alufolie ab und löse das festgewordene Plastik heraus.

➔ Führe das Experiment nun mit der Mischung aus drei verschiedenen Plastiksorten durch.

Tipp: Nutze Wartezeiten, um bereits die nachfolgenden Aufgaben zu bearbeiten.

Recycling gegen das Plastik-Problem?

Beobachtung:

Vergleiche die entstandenen Recyclingprodukte aus den sortenreinen Materialien mit dem, welches aus der Mischung entstanden ist.

Sortenrein	Nicht Sortenrein

Auswertung:

Begründe die Wichtigkeit der Sortenreinheit bei Werkstofflichem Recycling. Berücksichtige, was passiert, wenn das Material nicht sortenrein ist.

Deutschland ist Recycling-Meister!

2015 wurden über 99 % des Plastikmülls recycelt.

Laut Umweltbundesamt wurden im Jahr 2015 unter voller Berücksichtigung von energetischer Verwertung in effizienten Müllverbrennungsanlagen mit Energiekopplung über 99 % des gesamten Kunststoffmülls verwertet. Von den ca. 5,92 Millionen Tonnen Plastikmüll wurden ca. 45 % werkstofflich, 1 % rohstofflich und 53 % energetisch verwertet.[9]

Die Zahlen in dem Artikel „Deutschland ist Recycling-Meister“ sind beeindruckend. Allerdings berücksichtigen sie auch Kunststoffabfälle, die nicht in Deutschland selbst recycelt wurden. Deutschland exportiert ca. 1,4 Mio. Tonnen Kunststoffmüll in andere Länder, die diesen dann aber nur teilweise verwerten.[10]

[9] mit Informationen aus: Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH (2016, S. 17)
[10] mit Informationen aus: Fulterer (18.01.2018, S. 26)

Recycling gegen das Plastik-Problem?

„Deutschland ist Recycling-Meister!“ Bewerte diese lobende Überschrift stichpunktartig. Nutze dafür die ausliegenden Infokärtchen und die Grafik zum Kunststoffmüllexport.

Nutze die ausliegende Grafik und ergänze.

Die drei größten Importländer von deutschem Plastikmüll sind _____

(inklusive Hongkong), _____ und _____.

Schlagzeilen dieser Art tauchen seit einiger Zeit vermehrt auf. China stoppt den Import von Plastikmüll. Damit fällt der größte Abnehmer deutschen Kunststoffmülls weg. Für Deutschland hat dies weitreichende Folgen. Im Jahr 2015 wurden schließlich _____% der deutschen Kunststoffabfälle nach China exportiert. Das entspricht einer Menge von _____ Tonnen.

-Plasticfacts-
Aus Erdöl wird das sogenannte Rohbenzin (Naphtha) gewonnen, was den wesentlichen Ausgangsstoff für die meisten Kunststoffe bildet. Durch Zusatz von Additiven – also Zusatzstoffen – (z.B. Farben, Flammschutzmitteln, Füllstoffen,…) werden den Kunststoffen spezielle Eigenschaften verliehen.[11]

Bearbeitet zunächst die Aufgaben zu den Stationen. Dabei sollten die Experten für die jeweiligen Stationen die entsprechenden Aufgaben laut lösen und ihre Lösung den Nichtexperten erläutern.

Station: Mit „Bio“ gegen das Plastik-Problem?

Streiche die Kästchen durch, die nicht auf den Begriff „Biokunststoffe“ zutreffen.

Sind nicht notwendiger Weise biologisch abbaubar	Werden immer aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt	
Müssen biologisch abbaubar sein	Können aus nachwachsenden und fossilen Rohstoffen hergestellt sein	
Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen, die biologisch abbaubar sind, gehören dazu.	Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, die nicht biologisch abbaubar sind, gehören dazu.	Kunststoffe aus fossilen Rohstoffen, die nicht biologisch abbaubar sind, gehören dazu.

„Alle Produkte aus Biokunststoff sind umweltfreundlicher als solche aus herkömmlichen Kunststoffen.“ Nimm kurz Stellung zu dieser Aussage.

Kreuze an: ☐ Ich stimme zu.

☐ Ich stimme nicht zu.

☐ Ich stimme teilweise zu.

Kurze Begründung:

_____

_____

_____

[11] mit Informationen aus: Lindner und Hoffmann (2015, S. 10)

Zusammenfassung

Station: Insekten gegen das Plastik-Problem?

Kreuze die Erkenntnisse der Forscher bezüglich der Verdauung von….an:

…. Polystyrol durch Mehlwürmer

☐ Es ist keine Verdauung von Polystyrol nachweisbar.

☐ Die Verdauung von Polystyrol ist nachgewiesen.

☐ Die Verdauung von Polystyrol ist umstritten.

…. Polyethylen durch Wachsmottenlarven

☐ Es ist keine Verdauung von Polyethylen nachweisbar.

☐ Die Verdauung von Polyethylen ist nachgewiesen.

☐ Die Verdauung von Polyethylen ist umstritten.

Erkläre den Ablauf der Verdauung von Polystyrol im Mehlwurmdarm, indem du die Textabschnitte in der richtigen Reihenfolge nummerierst.

	Diese werden im Darm mit Darmbakterien vermischt.
	Es entstehen so kleinere Moleküle.
	Durch das Kauen mit den Mundwerkzeugen wird das Styropor in Fragmente zerkleinert.
	Einige zusätzlich entstandenen Zwischenprodukte, einige Darmbakterien und eventuell unverdautes Styropor werden als Kot ausgeschieden.
	Darmbakterien depolymerisieren die Styropormoleküle, d.h. sie spalten sie in ihre Bausteine.
	Diese werden durch weitere Bakterien zu Kohlenstoffdioxid mineralisiert.

Station: Enzyme gegen das Plastik-Problem?

Nenne die Quellen von Enzymen, die Kunststoffmoleküle spalten können, sowie drei Kunststoffarten, bei denen dies funktioniert.

Quellen von Enzymen:

Kunststoffarten:

Zusammenfassung

Bei der enzymatischen Hydrolyse von Kunststoffen werden die langkettigen Kunststoffmoleküle in kleinere Moleküle gespalten. Es entstehen ein Alkohol und eine Carbonsäure.

Zu welcher Stoffklasse gehören die Kunststoffe, die durch Enzyme hydrolysiert werden können? Wie heißt die funktionelle Gruppe?

Was kann mit den nach der Hydrolyse von Kunststoffmolekülen entstandenen kleineren Molekülen passieren?

In Lebewesen:

Durch den Menschen (wird noch erforscht):

Station: Recycling gegen das Plastik-Problem?

Ordne die drei Recyclingarten richtig zu.

	Recyclingart:
Die langkettigen Kunststoffmoleküle werden in kleinere Moleküle gespalten und zur Neusynthese von Kunststoffmolekülen genutzt.	
Der Kunststoffabfall wird verbrannt, wobei die entstandene Wärme zur Energieerzeugung genutzt wird.	
Der Kunststoffabfall wird mechanisch zerkleinert, eingeschmolzen und dann zu einem neuen Gegenstand ausgehärtet.	

Zusammenfassung

Erkläre das Verfahren „Spritzgießen“, indem du die Schrittfolge richtig nummerierst.

	Der Kunststoff wird in einer beheizten Schnecke plastifiziert (aufgeschmolzen) und weiter transportiert.
	Das Produkt härtet aus.
	Kunststoff-Granulat wird eingefüllt.
	Das Produkt fällt aus der Maschine.
	Der geschmolzene Kunststoff wird in ein Werkzeug eingespritzt, was eine Art Negativ des Produktes bildet.

Nenne eine wichtige Bedingung für die Qualitätssicherung beim Spritzgießen.

„Deutschland ist Recyclingmeister“ Finde heraus, warum dieser Titel mit Vorsicht zu genießen ist, indem du den Lückentext ausfüllst. Nutze die Begriffe im Kasten.

China	verwertet	99%	Müllverbrennungsanlagen	
	große	unbekannte	Indien	Ausland

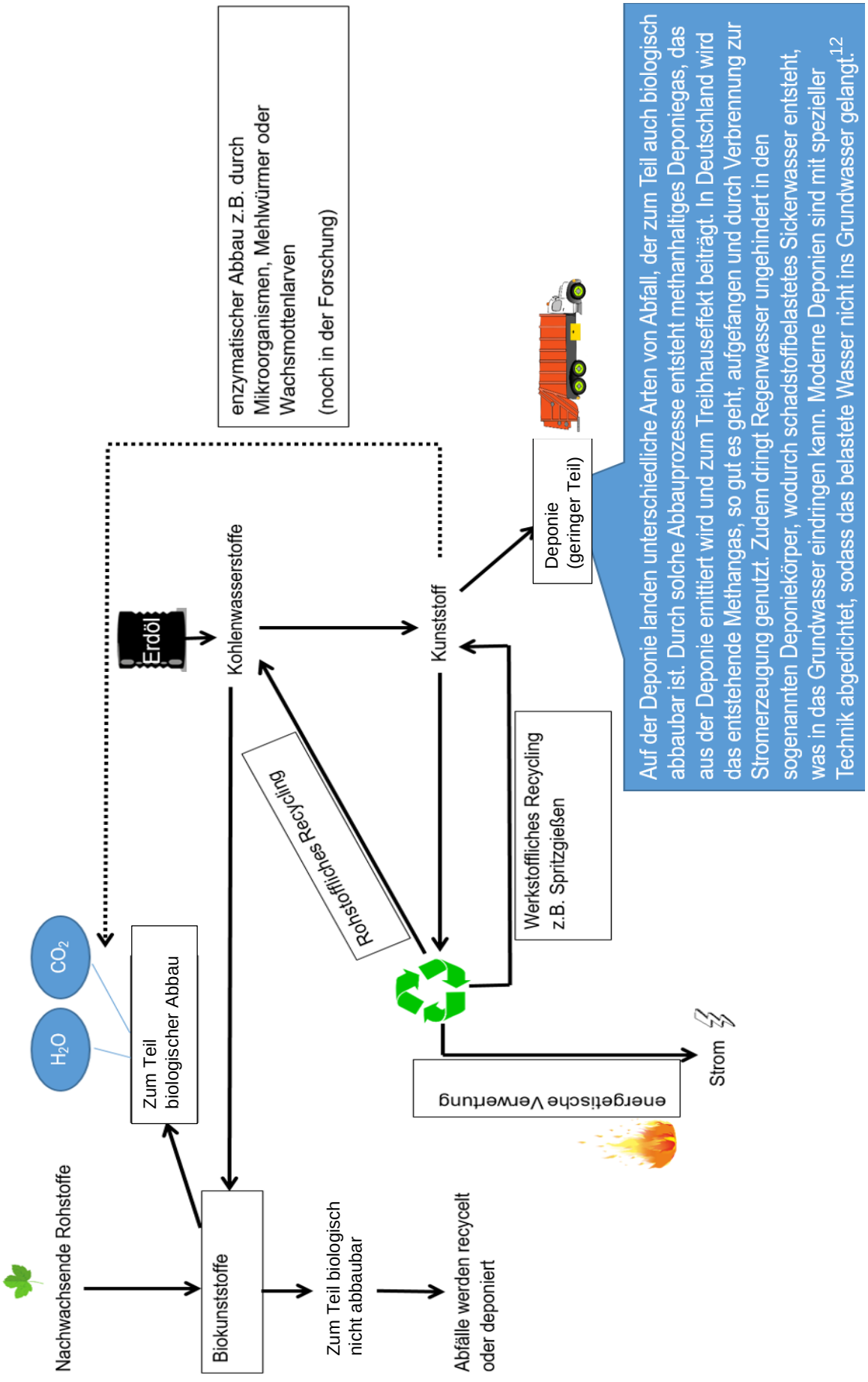
Laut Umweltbundesamt wurden im Jahr 2015 über _____des deutschen Kunststoffmülls verwertet. Dies schließt auch die energetische Verwertung in _____ ein. Allerdings exportiert Deutschland eine _____ Menge an Kunststoffmüll ins _____. Exportländer sind beispielsweise _____, _____und Malaysia. Der exportierte Kunststoffabfall soll dort _____ werden. Allerdings ist dessen Weg meist nicht transparent und ganz nachvollziehbar. Meist gelangt der Abfall nämlich in kleine, _____ Firmen, über die oft keine Auskunft möglich ist.

Zusammenfassung

Fazit:

Macht euch Gedanken darüber, wie man das „Plastik-Problem“ in eigenen Worten beschreiben kann. Ihr könnt hierfür das Schema auf der nächsten Seite zur Hilfe nutzen.

Was ist eurer Meinung nach die beste Möglichkeit, um das Plastik-Problem zu lösen? Was könnt ihr persönlich dabei tun? Sammelt eure Ideen zunächst mündlich.



[12] mit Informationen aus: Umweltbundesamt (2011, S. 2-8)

Literaturverzeichnis

Andrady, Anthony L. (2015): Plastics and environmental sustainability. Hoboken: Wiley.

Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH (2016): Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015 - Kurzfassung -. Verfügbar unter http://www.bkv-gmbh.de/fileadmin/documents/Studien/Consultic_2015__23.09.2016__Kurzfassung.pdf.

Fulterer, R. (2018): Wohin mit unserem Müll?: Deutschland exportiert riesige Mengen Altverpackungen, vor allem nach China. Doch das wird jetzt schwieriger. In: *Die Zeit,* Nr. 04/2018, S. 26. Verfügbar unter http://www.zeit.de/2018/04/abfall-muell-deutschland-china-exporte, zugegriffen am 02.02.2018.

Lindner, C.; Hoffmann, C. (2015): Analyse/Beschreibung der derzeitigen Situation der stofflichen und energetischen Verwertung von Kunststoffabfällen in Deutschland. Erstellt für: Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen Deutschland e.V. Verfügbar unter https://www.itad.de/information/studien/ITADConsulticKunststoffstudieApril2015.pdf, veröffentlicht am 2015, zugegriffen am 01.02.2018.

Liu, D. (2009): Enzymes for Industrial Acrylation: Redesign of Candida antarctica Lipase B and Characterization of a New Cutinase from Alternaria brassicicola. zur Erlangung der Würde eines Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) genehmigte Abhandlung, Universität Stuttgart. Verfügbar unter https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/1224/1/diss_liu.pdf, zugegriffen am 26.02.2018.

Struckemeier, S.; Sieve, B.; Kloppenburg, J. (2015): Biokunststoffe: Eine nachhaltige Alternative zu herkömmlichen Kunststoffen? Material - Zahlen und Daten. In: *Unterricht Chemie: Nachwachsende Rohstoffe,* 26 (146), S. 34.

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2011): Klimarelevanz der Abfallwirtschaft. Dessau-Roßlau (Hintergrundpapier).

Wei, R.; Zimmermann, W. (2017a): Biocatalysis as a green route for recycling the recalcitrant plastic polyethylene terephthalate. In: *Microbial Biotechnology,* 10 (6), 1302–7. doi: 10.1111/1751-7915.12714.

Wei, R.; Zimmermann, W. (2017b): Microbial enzymes for the recycling of recalcitrant petroleum-based plastics: How far are we? In: *Microbial Biotechnology,* 10 (6), 1308–22. doi: 10.1111/1751-7915.12710.