

## MUSTERLÖSUNGEN

### DECHEMA-Schülerwettbewerb 2018/2019



**Wir können eure Protokolle nicht zurückschicken und können euch auch im Einzelnen keine Auskunft zur Korrektur geben.**

Alle Rechte an den eingesandten Lösungen gehen an die DECHEMA e.V. über, das schließt auch die Texte und Abbildungen ein, die von der DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. uneingeschränkt verwendet und zitiert werden können. Die DECHEMA e. V. kann über die eingesandten Lösungen frei verfügen und insbesondere über deren Aufbewahrung oder Vernichtung nach der Auswertung frei entscheiden.

Bitte beachtet auch:

Die **Musterlösungen** erläutern nur recht knapp die richtigen Antworten. Wenn ihr also in etwa das geschrieben habt, was hier steht, heißt das deshalb noch nicht, dass ihr ein Anrecht auf einen Preis habt.



Wir danken an dieser Stelle ganz besonders den KJVIs, die den Versuch „Unsichtbare Begleiter“ für den Wettbewerb konzipiert und bereitgestellt haben!

# Mikroplastik Adieu?

## Experiment 1 – Harte Milch

### Material

- frische Vollmilch 3,5% Fett
- Essigessenz ca. 25% Essigsäure (oder die fünffache Menge Essig ca. 5% Essigsäure)
- Quark
- Lebensmittelfarbe
- Kochtopf
- Esslöffel aus Metall zum umrühren (einfacher zu säubern)
- Sieb
- Geschirrtuch
- Frischhaltefolie
- Herd
- Heizung
- Schutzbrille

### Herstellung des Milchkunststoffes:

1. Gebt 250 mL frische Vollmilch mit 3,5% Fettanteil und 2 Esslöffel Essigessenz in den Topf. **Achtung! Seid vorsichtig mit der Essigessenz. Tragt die Schutzbrille! Vermeidet es, Essig in die Augen zu bekommen. Essig in den Augen ist gefährlich und tut verdammt weh! Bei Augenkontakt sollten die Augen mit viel Wasser ausgespült werden und ein Arzt aufgesucht werden. Auch Kontakt mit der Haut sollte vermieden werden.**
2. Erhitzt die Mischung aus Milch und Essig unter ständigem Rühren bei niedriger bis mittlerer Hitze. Die Milch sollte nicht kochen, um ein Anbrennen zu verhindern. **Achtung heiß! Verbrennt euch nicht an der Herdplatte.** Nach kurzer Zeit sollten sich feine weiße Flocken in der Milch bilden. Die Milch gerinnt. Wenn die Milch beginnt zu gerinnen, dann rührt und erhitzt die Mischung für weitere 3-5 Minuten.
3. Nehmt den Topf vom Herd und lasst das Gemisch für einige Minuten abkühlen.
4. Schüttet den gesamten Topfinhalt durch das Sieb, in das ihr zusätzlich das Geschirrtuch gelegt habt (s. Bild). Wenn die Flüssigkeit abgelaufen ist, bleibt ein weißer Feststoff zurück. **Achtung! Die Flüssigkeit ist noch heiß. Verbrennt euch nicht!**

5. Optional: Um den Essiggeruch zu verringern wascht ihr den Feststoff vorsichtig mit kaltem Leitungswasser. Kippt dazu einfach etwas Leitungswasser in das Sieb und wartet bis die Flüssigkeit abgelaufen ist.
6. Drückt den weißen Feststoff vorsichtig mit dem Geschirrtuch aus, um das Wasser aus dem Feststoff zu bekommen.
7. Legt ein Stück Frischhaltefolie über eine glatte Oberfläche (z.B. einen Teller oder ein Schneidebrettchen).
8. Die Masse sollte nun zwar noch nass, aber so fest sein, dass ihr etwas daraus formen könnt. Formt zum Beispiel eine Kugel und legt diese auf den Teller mit Frischhaltefolie. Ihr könnt die Kugel dann vorsichtig plattdrücken, um eine Reifenform zu erhalten. Drückt nicht zu viel auf der Masse herum, da diese dadurch später Risse bekommen kann.
9. Stellt den Teller zum Trocknen auf die Heizung. Der „Reifen“ sollte nun für ca. 2-4 Tage an der Luft trocknen. Er wird dadurch hart.



*Abbildung 1: Trennen des Milch Kunststoffes von der Flüssigkeit im Sieb (links). Milch Kunststoff geformt zu einem „Reifen“ (rechts).*

Um die Eigenschaften des Reifengummis zu optimieren, werden unter anderem Zusatzstoffe verschiedener Art in unterschiedlichen Mengen zugesetzt. So wird Autoreifen Ruß zugesetzt, der den Reifenabrieb verringert und dem Reifen die typische schwarze Farbe verleiht.

Welche Eigenschaften könnt Ihr bei eurem „Milchreifen“ verändern?

10. Wiederholt den Versuch und gebt einen Esslöffel Quark zu eurer Rezeptur hinzu.  
Wie wirkt sich das auf eure Ausbeute aus?
11. Setzt eine Mischung an, zu der ihr einige Tropfen Lebensmittelfarbe (Farbe eurer Wahl) hinzugebt.

Beschreibt eure Ergebnisse (->Antwort zu Frage 1).

## Experiment 2 – Starke Stärke

### Material

- Speisestärke (z.B. Maisstärke)
- Leitungswasser aus dem Hahn (ohne Kohlensäure!)
- Glycerin (85%ig). Glycerin bekommt ihr in der Apotheke. Eine kleine Flasche mit z.B. 50 mL ist völlig ausreichend.
- Zucker
- Lebensmittelfarbe
- Küchenwaage
- Kochtopf
- Esslöffel aus Metall zum Umrühren (einfacher zu säubern)
- Frischhaltefolie
- Herd
- Heizung

### Herstellung des Stärkekunststoffes

1. Stellt den Kochtopf auf die Küchenwaage und gebt 10 g Speisestärke (z.B. aus Maisstärke), 85 g Leitungswasser und 7 g Glycerin hinzu.
2. Verrührt alles zu einer milchig weißen Flüssigkeit.
3. Legt zwei Stücke Frischhaltefolie über jeweils zwei glatte Oberflächen (z.B. Teller oder Schneidebrettchen).
4. Erhitzt das Gemisch unter ständigem Rühren bei niedriger bis mittlerer Hitze.  
**Achtung! Verbrennt euch nicht an der Herdplatte.**
5. Erhitzt und rührt die Mischung so lange, bis eine gelartige einheitliche Masse entsteht. Dies kann bis zu 30 Minuten dauern. Die Masse sollte leicht durchscheinend sein und sich noch gut mit dem Löffel verstreichen lassen. Ob die Masse leicht durchscheinend ist, könnt ihr prüfen, indem ihr sie dünn auf dem Boden des Topfes verteilt.

Sollte die Masse zu fest werden und noch sehr milchig aussehen, könnt ihr einen Spritzer Wasser hinzugeben und gut umrühren. **Achtung! Rührt die ganze Zeit gut um. So verhindert ihr, dass die Masse anbrennt.**

6. Nehmt die leicht durchsichtige Kunststoffmasse mit dem Löffel aus dem Kochtopf und teilt sie gleichmäßig auf die beiden Teller mit Frischhaltefolie auf. Ihr könnt dann auch hieraus mit dem Löffel z.B. Reifen formen. **Achtung! Die Masse ist noch heiß! Verbrennt euch nicht!**

7. Spült den Topf schnell mit heißem Wasser aus. So verhindert ihr, dass der Kunststoff im Topf hart wird und sich nur noch schwer entfernen lässt.
8. Stellt die Teller mit den Kunststoffreifen zum Trocknen auf die Heizung. Der „Reifen“ sollte für ca. 2-4 Tage trocknen.



*Abbildung 2: Speisestärke, Wasser und Glycerin Mischung vor dem Erhitzen.*



*Abbildung 3: Flüssige Grundmasse des Kunststoffes nach ca. 25-30 Minuten Erhitzen. Die Masse sollte leicht durchscheinend sein, sodass der Topfboden zu erkennen ist (links). Die Masse sollte gelartig und formbar sein (rechts).*

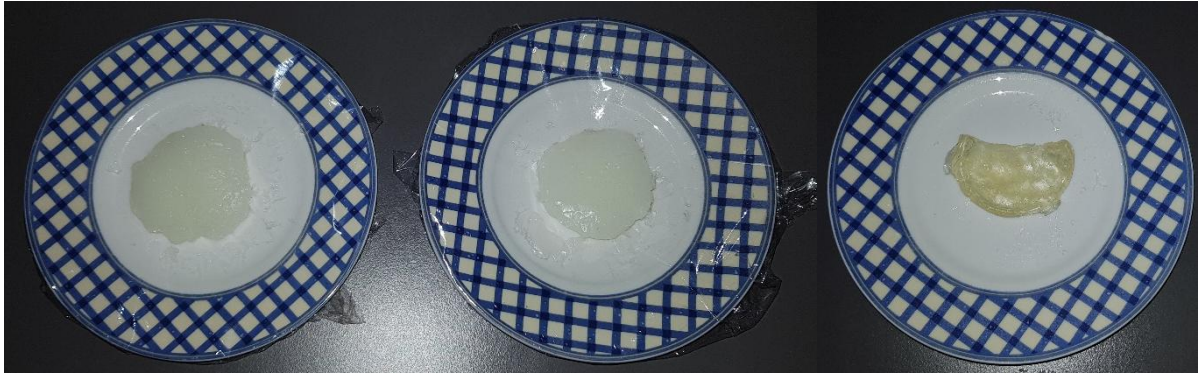


Abbildung 4: Frische Kunststoffmasse geformt zu zwei „Reifen“ (links). Kunststoff nach mehrtägigem Trocknen (rechts).

**Achtung!** Die Geschwindigkeit, mit der die Kunststoffe trocknen, ist abhängig von der Temperatur eurer Heizung. Prüft am besten täglich die Konsistenz eurer Kunststoffe. Ihr könnt dazu einfach **vorsichtig** mit dem Finger fühlen ob der Kunststoff bereits hart ist. Fühlt sich der Kunststoff noch sehr weich an, dann lasst ihn lieber noch weiter trocknen.

Auch bei diesem Versuch könnt ihr mit den Eigenschaften des Stärkereifens experimentieren.

9. Wiederholt den Stärkeversuch und setzt Lebensmittelfarbe zu. Vergleicht das Ergebnis mit dem gefärbten Milchreifen. Welcher Reifen erzielt das bessere Farbergebnis?
10. Die Zugabe von Glycerin hat einen ganz bestimmten Zweck. Welchen? Was passiert, wenn man mehr oder weniger Glycerin für die Rezeptur verwendet?
11. Und was passiert, wenn man der Rezeptur etwas Zucker (etwa 5 g) hinzufügt?

Habt ihr noch weitere Ideen, womit man die Eigenschaften der Reifen beeinflussen könnte?

Lösung s. Antworten zu Frage 2/3



## Experiment 3 – Biokunststoff für Reifen?

### Material

- Gefrierschrank
- Arbeitsplatte in der Küche
- Spüllappen
- 1 Bogen sehr feines Schleifpapier (wasserfest, Körnung 220 bis 1000)
- Glas oder Behälter
- Leitungswasser
- Schere
- Küchenrolle

### Test des Kunststoffverhaltens:

1. Stellt einen der Stärke-Kunststoffreifen für ca. 1 Stunde in den Gefrierschrank.
2. Nehmt den Kunststoffreifen aus dem Gefrierfach und vergleicht ihn mit dem von der Heizung. Drückt dazu leicht auf den beiden Reifen herum und biegt diese vorsichtig. Schreibt eure Beobachtung auf.
3. Vergleicht nun den Milchkunststoff mit dem Stärkekunststoff und notiert eure Beobachtung.
4. Schneidet das Schmirgelpapier in zwei Hälften.
5. Reibt mit dem Stärkekunststoff über die Arbeitsplatte in der Küche. Reibt diesen anschließend über die eine Hälfte Schleifpapier und notiert eure Beobachtung.
6. Wiederholt Punkt 5 mit dem Milchkunststoff. Nehmt dazu die andere Hälfte des Schleifpapiers.
7. Befeuchtet mit einem nassen Lappen einen Teil der Arbeitsfläche und jeweils die Hälfte beider Schleifpapierbögen für die beiden Kunststoffe.
8. Reibt mit beiden Kunststoffen abwechselnd über die nassen Flächen und die trockenen Flächen der Arbeitsplatte und des Schleifpapiers. Trocknet die Kunststoffe kurz ab, wenn ihr von nass auf trocken wechselt, da dies das Ergebnis verfälschen kann. Wie ändert sich der Reibungswiderstand? Notiert eure Beobachtungen.
9. Reibt vorsichtig ein paar Späne von beiden Kunststoffen mit einer Küchenreibe oder schneidet/brecht kleine Stücke von euren Kunststoffen ab. Legt diese in das Glas mit Wasser. Lasst das Glas für ein paar Tage stehen. Kontrolliert das Glas 1-mal täglich. Was passiert mit den Kunststoffen und der Flüssigkeit? Schreibt eure Beobachtung auf.



Beide Kunststoffe sind biologisch abbaubar. Das heißt, sie können nach einiger Zeit anfangen zu schimmeln und zersetzen sich. Bitte entsorgt eure Proben rechtzeitig in den Bioabfall.

### Fragen:

1. Woraus besteht der Milchkunststoff und wie entsteht dieser?

Durch die Zugabe von Essig werden die Milchproteine, das sogenannte Casein, in der Milch denaturiert und ausgefällt. Sie verklumpen und trennen sich von der Milch. Caseine machen 80% der Proteine in der Milch aus. Das Casein besteht aus langkettigen Molekülketten, die sich miteinander verhaken können und so eine feste gummiartige Masse bilden. Durch das Verdampfen des Wassers fällt das „Gleitmittel“ weg, sodass sich eine sehr harte Masse bildet.

Quark ist sehr proteinreich. Deshalb kann man durch die Zugabe die Ausbeute deutlich erhöhen. Es lässt sich außerdem beobachten, dass der entstehende Kunststoff bei der Verwendung von Quark weicher/geschmeidiger ist.

Das Anfärben des Reifens funktioniert beim Milchreifen nicht sehr gut. Die (wasserlösliche) Farbe verbleibt eher in der wässrigen Phase, wird herausgewaschen.

2. Wie entsteht der Kunststoff aus Stärke?

Stärke besteht zu ca. 80% aus Amylopektin und 20% aus Amylose. Beide Moleküle sind Makromoleküle, welche aus verknüpften  $\alpha$ -Glucose Einheiten bestehen. Diese sind untereinander über Wasserstoffbrücken verbunden und bilden so von Natur aus eine kristalline Struktur. Durch das Erhitzen mit Wasser quillt die Stärke auf. Hierbei brechen die Wasserstoffbrücken auf und die Struktur geht verloren. Dies ist ein irreversibler Vorgang, der auch nach dem Abkühlen noch erhalten bleibt. Beim Erkalten bilden sich jedoch die Wasserstoffbrücken erneut aus, wodurch der sogenannte Stärkekleister fest und spröde wird. Um dies zum Teil zu verhindern wird Glycerin als natürlicher Weichmacher in den Kunststoff mit eingebracht. Das Glycerin fungiert wie ein Schmiermittel zwischen den einzelnen Molekülen und macht den Kunststoff elastisch. Je mehr Glycerin, desto elastischer wird der Kunststoff.

Wie schon oben erwähnt, lässt sich der Stärkereifen besser einfärben. Die Idee hinter der Zugabe des Zuckers ist die, dass die Zuckermoleküle sehr viel kürzere Molekül-Ketten (wenn man überhaupt von Ketten sprechen kann) haben und dadurch die Vernetzung der Moleküle viel dichter wird. In der Folge wird der Kunststoff fester. War dieser Effekt bei euren Versuchen spürbar?

3. Wie unterscheiden sich die beiden Kunststoffe von der Konsistenz? Warum?

Der Milch- / Caseinkunststoff ist sehr fest und spröde / brüchig. Er ist außerdem weiß oder leicht gelblich. Der Stärkekunststoff hingegen ist leicht durchsichtig. Des Weiteren ist auch dieser sehr fest aber trotzdem elastisch. Er lässt sich schwach

verbiegen, ohne zu brechen. In Form einer dünnen Folie ist der Stärkekunststoff sogar sehr gut biegsam. Es kommt hier nur auf die Dicke des Materials an. Dies liegt in erster Linie daran, dass im Stärkekunststoff Glycerin als Weichmacher verwendet wird. Dies sorgt als Schmiermittel zwischen den Molekülen für eine gewisse Elastizität. Im Caseinkunststoff ist kein Schmiermittel enthalten. Glycerin eignet sich nicht als Schmiermittel für Casein.

4. Wie verändert sich der gekühlte Stärkekunststoff? Warum gibt es beim Material einen Unterschied zwischen Winter- und Sommerreifen? (Gemeint ist nicht das Reifenprofil)

Der gekühlte Kunststoff ist deutlich fester und weniger elastisch als der bei Zimmertemperatur. Je nach Temperatur können Gummis demnach andere Eigenschaften haben. Winter- und Sommerreifen unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung, sodass der Winterreifen selbst bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt noch ausreichend weich und elastisch bleibt. So rutscht man nicht auf der Straße. Im Sommer hingegen wäre der Winterreifen zu weich, sodass er sich sehr schnell durch Abrieb abnutzt. Hier kommt der etwas härtere Sommerreifen zum Einsatz.

5. Was für einen Unterschied habt Ihr beim Abrieb in den Aufgaben 3.5 und 3.6 feststellen können? Welcher Kunststoff ist besser? Welche Unterlage (Arbeitsplatte und Schmirgelpapier, nass und trocken) erzeugt warum weniger Abrieb?

Der Caseinkunststoff ist spröder und brüchiger und erzeugt auf dem Schmirgelpapier einen höheren Abrieb als der Stärkekunststoff. Auf der glatten Arbeitsplatte hingegen gleitet der Caseinkunststoff etwas besser. Der Stärkekunststoff hat eine leichte Anti-Rutsch Wirkung auf der glatten Platte. Der Unterschied auf der Arbeitsplatte ist allerdings äußerst gering und kann je nach Beschaffenheit der Platte variieren. Dazu kommt, dass der Caseinkunststoff durch das Fett in der Milch auf der glatten Oberfläche leicht geschmiert wird und somit besser rutscht.

Benetzt man die Oberflächen allerdings mit Wasser ändert sich das Verhalten deutlich. Auf der glatten Arbeitsplatte rutscht nun auch der Stärkekunststoff sehr gut, da dieser mit Wasser einen leicht glitschigen Film auf der Oberfläche bildet. Der Caseinkunststoff gleitet weiterhin gut. Beim Vergleich des trockenen mit dem nassen Schmirgelpapier gleiten beide Kunststoffe deutlich besser auf der nassen Oberfläche und erzeugen auch weniger Abrieb. In allen Fällen ist jedoch der Grip der beiden Kunststoffe auf der rauen Oberfläche deutlich besser als auf der glatten.

6. Was für einen Effekt hat Wasser auf Abrieb und Reibungswiderstand? Wie werden Reifen hergestellt, um mit Wasser auf der Fahrbahn umzugehen?

Wasser verringert den Abrieb, aber auch den Reibungswiderstand. Bei glatten Reifen würde dies dazu führen, dass Autos auf nasser Fahrbahn stark rutschen würden. Das wäre gefährlich, da sich der Bremsweg deutlich verlängert oder ein Bremsen gar nicht mehr möglich ist. Reifen werden deshalb mit einem Profil hergestellt. Dieses sorgt dafür, dass das Wasser durch die Rillen abgeführt werden kann. So entsteht kein Film zwischen Reifen und der Asphaltoberfläche auf dem der Reifen rutschen kann. Das Rutschen auf einem Wasserfilm wird übrigens „Aquaplaning“ genannt.

7. Warum ist die Oberfläche von Asphalt so gewählt, wie sie ist? (Tipp: Sie ist glatt, aber nicht zu glatt)

Während die hergestellten Reifen auf der Arbeitsplatte sich weniger stark abnutzen, haben sie auf dem Schmirgelpapier mehr Grip.

Asphalt hat gewollt eine leicht raue Oberfläche, um die Haftung der Reifen zu verbessern. Wäre sie jedoch zu glatt, wird der Abrieb der Reifen stark erhöht. Die Oberflächenbeschaffenheit ist demnach ein Kompromiss aus Haftung und Abrieb.

8. Welcher von euch hergestellte Kunststoff ist besser für die Umwelt? Begründet eure Antwort.

Beide Kunststoffe werden potentiell aus Nahrungsmitteln hergestellt. Dennoch ist Milch ein tierisches Produkt, während Stärke rein pflanzlich hergestellt wird. Milchkühe benötigen zudem Nahrung, aus der auch direkt die Stärke hergestellt werden könnte.

Eine abschließende Bewertung ist erschwert, da Caseinkunststoffe zum Beispiel auch aus Milch hergestellt werden könnten, die sich nicht als Nahrungsmittel eignet. Im Sinne einer Abfallverwertung wäre der Caseinkunststoff also durchaus ökologisch.

9. Eignen sich die von euch hergestellten Kunststoffe als Material für Reifen? Warum oder warum nicht? Was kann und sollte noch verbessert werden?

Nein, beide Kunststoffe eignen sich nicht zur Herstellung von Reifen. Der Caseinkunststoff ist zu spröde und würde den mechanischen Belastungen, denen ein Reifen ausgesetzt ist, nicht standhalten. Ähnliches gilt auch für den Stärkekunststoff. Dieser ist zwar etwas elastischer, allerdings sind die mechanischen Eigenschaften auch hier ungeeignet zur Herstellung von Reifen. Außerdem bildet Stärkekunststoff in Kontakt mit Wasser einen schmierenden Film, welcher die Traktion und Bremskraft deutlich verringern würde. Beide Polymere sind ebenfalls biologisch abbaubar. Die Reifen würden sich also nach einiger Zeit zersetzen.

In erster Linie sollten die mechanischen Eigenschaften verbessert werden, damit die Kunststoffe auch höheren Belastungen standhalten können. Hier sollte zunächst die Elastizität, aber auch die Abriebfestigkeit erhöht werden. Die Kunststoffe sollten sich weiterhin nur äußerst langsam biologisch zersetzen können, sodass die Reifen eine gewisse Lebensdauer mit sich bringen würden. Dies steht natürlich wiederum im Gegensatz zur Verringerung des Mikroplastiks.

10. Biokunststoffe (auch andere als die hier betrachteten) können neben der hier untersuchten Betrachtung als Reifenmaterial auch in anderen Produkten, wie z.B. Folien, Kunststoffformteilen oder Behältern eingesetzt werden. Warum muss der Einsatz von Biokunststoffen dennoch ökologisch kritisch betrachtet werden?

Viele Biokunststoffe werden als Blends hergestellt, also zusammen mit anderen Kunststoffen vermischt. Dies soll die Eigenschaften des Kunststoffes verbessern. Diese anderen Polymere sind nicht ohne weiteres biologisch abbaubar. Auch Zusätze wie Farbstoffe oder giftige Weichmacher könnten Probleme verursachen. Weiterhin benötigen Biokunststoffe auch teils spezielle Bedingungen, um abbaubar zu sein. Einige Biokunststoffe zersetzen sich zum Beispiel nicht in Meerwasser. Diese Kunststoffe hätten also ähnliche ökologische Auswirkungen wie herkömmliche Kunststoffe. Ein wichtiger Faktor ist außerdem die Zeit, in der sich Biokunststoffe zersetzen. Für Lebewesen potentiell gefährliche Formteile, wie z.B. Plastikringe oder Schlingen können auch bei einer Zersetzungsdauer von wenigen Wochen gefährlich

werden, wenn sich Lebewesen in diesen verfangen. Des Weiteren benötigt der Anbau der benötigten Rohstoffe für Biokunststoffe oft viel Platz. Dies steht in direkter Konkurrenz zur Nahrungsmittelindustrie, aber auch zum Lebensraum der Tierwelt.

Während Biokunststoffe definitiv ein wichtiger Schritt in Richtung einer auf erneuerbaren Rohstoffen basierenden und damit nachhaltigen Wirtschaft sind, muss der gesamte Lebenszyklus in die Bewertung einbezogen werden.