

Name:

Datum:

Umschmelzen und Tiefziehen von Polystyrol

Geräte

Heißluftgebläse, Keramiknetz, Tiegelzange, Saugflasche mit Gummiring, Glasfritte, Wasserstrahlpumpe, Stativ mit Muffe und Klammer

Materialien

Joghurtbecher aus Polystyrol (PS)

Sicherheitshinweise

Trage eine Schutzbrille! Das Heißluftgebläse wird sehr heiß. Verbrennungsgefahr! Nur am Griff anfassen! Zum Schluss alles gut abkühlen lassen!

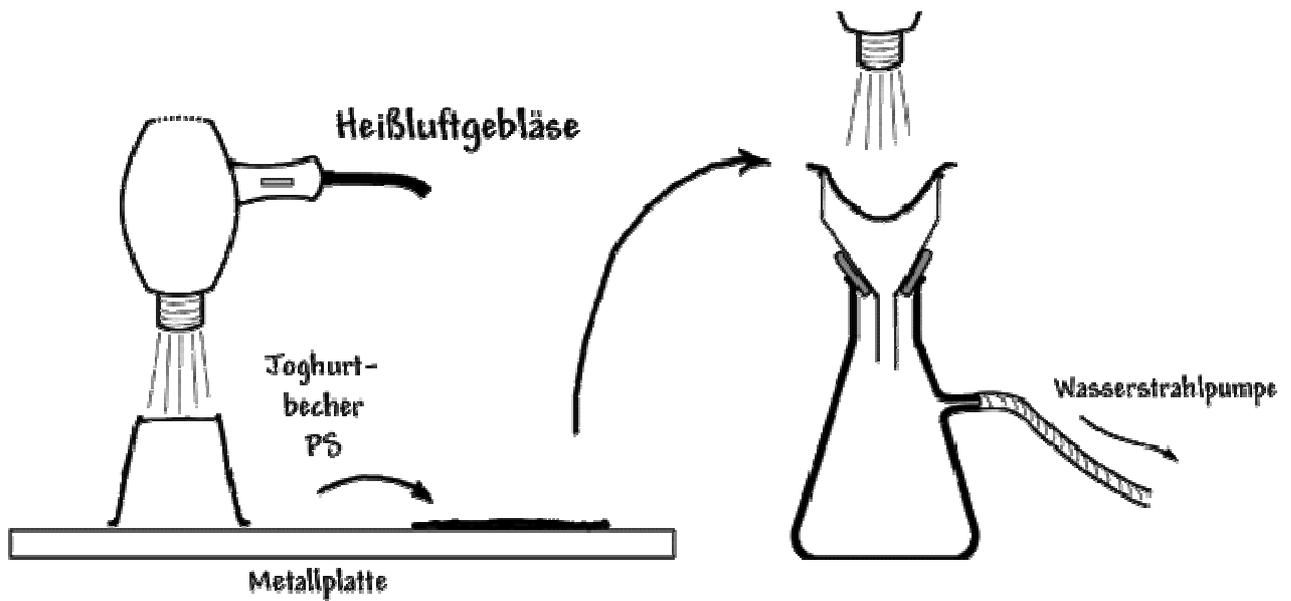
Durchführung

1. Sieh dir das Muster auf dem Joghurtbecher genau an! Wieso hat es genau diese Form?

Vermutung

2. Setze die Glasfritte in dem Gummiring auf die Saugflasche. Schließe die Wasserstrahlpumpe an die Flasche an.
3. Stelle einen Joghurtbecher aus PS umgekehrt auf das Keramiknetz.
4. Erwärme mit einem Heißluftgebläse mit 10 - 20 cm Abstand in kreisenden Bewegungen den Becher von oben, und beobachte die Veränderung. Welche Form hat das Muster jetzt?

5. Lege mit der Tiegelzange die warme Kunststoffscheibe mit dem Muster nach unten mittig auf die Glasfritte.
6. Erwärme vorsichtig direkt von oben mit 10 - 20 cm Abstand weiter.
7. Wenn sich die überstehenden Ränder der Kunststoffscheibe leicht nach unten biegen, stelle einen leichten Unterdruck mit der Wasserstrahlpumpe ein.



8. Steuere mit der Wasserstrahlpumpe so, dass sich der Kunststoff langsam in die Fritte zieht.
9. Stelle das Heißluftgebläse aus, wenn sich der Kunststoff hat nicht weiter verändert, und lass alles abkühlen. Wie sieht das Muster jetzt aus?

Beobachtung

Erklärung

Name:	Datum:
-------	--------

Styropor® recyceln

Geräte

Heizplatte, Becherglas 400 mL eng, Becherglas 100 mL, Kunststoffdose mit Deckel, Tiegelzange, Pinzette, Papiertuch

Materialien

möglichst dicht gepresstes Polystyrol (Styropor®), heißes Wasser, Siedesteinchen

Sicherheitshinweise

Die Heizplatte wird sehr heiß. Siedendes Wasser kann spritzen. Verbrennungsgefahr!
Zum Schluss alles gut abkühlen lassen!

Durchführung

1. Stelle das bis ca. 3 - 4 cm unter dem Rand mit heißem Wasser gefüllte 250 mL-Becherglas auf die Heizplatte und erhitze es weiter (Heizplatte auf ca. 250 °C stellen, einige Siedesteinchen in das Becherglas geben).
2. Zerkleinere das Polystyrol in 0,5 – 1 cm kleine Teilchen und **stopfe** die Styroporteilchen **kräftig** in die Dose, bis sie vollständig fest gefüllt ist.
3. Schließe den Deckel fest zu (der Verschluss muss einrasten!). Achte darauf, dass sich kein Material zwischen Deckelrand und Dose befindet.
4. Stell die Dose mit der Tiegelzange in das 250 mL-Becherglas, setze das halb mit Wasser gefüllte 100 mL-Becherglas darauf und lass das Wasser im großen Glas mindestens 5 min sieden.
5. Nimm zuerst das kleine Becherglas ab (Vorsicht: heiß), hebe dann mit der Tiegelzange die Kunststoffdose aus dem Becherglas und kühle sie am Waschbecken mit Wasser ab.
6. Öffne die Dose und schiebe die Pinzette **möglichst tief** in die Dose. Zieh das Polystyrol vorsichtig heraus. Was ist passiert?

Beobachtung

Erklärung

Name:

Datum:

Umformen von Polystyrol und Herstellung einer Folie

Geräte

Waage, Becherglas 250 mL, Messzylinder 10 mL, kleiner Trichter, Glasstab, mit Alufolie ausgelegte Glaspetrischale, Edding

Materialien

zerkleinertes Polystyrol (Styropor®), Essigsäureethylester

Sicherheitshinweise

Handschuhe und Schutzbrille tragen! Offene Feuerquellen vermeiden! Essigsäureethylester ist leichtentzündlich und reizend.

Durchführung

1. Zerkleinere das Polystyrol in kleine Stücke. Wiege ca. 1 g davon in das Becherglas ein.
2. Fülle mit Hilfe des Trichters 8 mL Essigsäureethylester in den Messzylinder.
3. Gieße nun den Essigsäureethylester langsam über das Polystyrol im Becherglas.
4. Rühre mit dem Glasstab um. Versuche, die Lösung möglichst klar zu bekommen.
5. Beschrifte die Glasschale mit deinem Namen.
6. Gieße die Lösung auf die Alufolie in der Glaspetrischale und stelle die Schale unter den Abzug, damit das Lösungsmittel dort verdunsten kann.

Beobachtung:

Erklärung:

Name:

Datum:

Wiederaufschäumen von Polystyrol

Geräte

Becherglas 250 mL, Becherglas 100 mL, Messzylinder 10 mL, Trichter, Glasstab, Heizplatte, Löffel, Messer, Lupe, Abfallbehälter für Aceton

Materialien

Verpackungschips, Aceton, heißes Wasser

Sicherheitshinweise

Handschuhe und Schutzbrille tragen! Dieser Versuch muss unter dem Abzug durchgeführt werden. Offene Feuerquellen vermeiden! Aceton ist leichtentzündlich und reizend.

Durchführung

1. Wiege in das 250 mL-Becherglas 1 g von den Polystyrolchips ein.
2. Miss mit dem Messzylinder 5 mL Aceton ab (Trichter verwenden) und gieße sie langsam über die Polystyrolchips.
3. Rühre mit dem Glasstab leicht um.
4. Überführe die Polystyrolmasse mithilfe des Glasstabs möglichst in einem Schwung in das 100 mL-Becherglas, das mit heißem Wasser gefüllt ist.
5. Erhitze das Becherglas einige Minuten auf der Heizplatte (auf ca. 125 °C eingestellt), bis sich die Masse nicht mehr verändert.

Beobachtung:

6. Hol die Polystyrolmasse mit einem Löffel heraus und lege sie kurz zum Trocknen auf ein Papiertuch.
7. Schneide in der Zwischenzeit einen Polystyrolchip mit einem Messer in zwei Teile und betrachte die Schnittfläche unter der Lupe.
8. Zeichne die Schnittflächenstruktur.



9. Schneide nun auch deine Polystyrolmasse in zwei Teile, betrachte die Schnittfläche unter einer Lupe und vergleiche diese mit der des vorhandenen Polystyrolchips.

Beobachtung:

Erklärung:

Name:	Datum:
-------	--------

Polystyrol als Gerüstsubstanz

Geräte

Lupe, Uhrglas, Schnappdeckelglas, Becherglas 250 mL, kleine Glaspetrischale, Tropfpipette, Glasstab, Löffelspatel, Edding

Materialien

Würfelsucker A und B, zerkleinertes aufgeschäumtes Polystyrol (Styropor®), Essigsäureethylester, Wasser

Sicherheitshinweise

Handschuhe und Schutzbrille tragen! Offene Feuerquellen vermeiden! Essigsäureethylester ist leichtentzündlich und reizend.

Durchführung

1. Untersuche und vergleiche die beiden Zuckerwürfel genau. Unterscheiden sie sich.
2. Fülle das 250 mL-Becherglas mit warmem Wasser und gib die Würfelsuckerstücke hinein. Rühre regelmäßig vorsichtig um, ohne die Würfel dabei zu berühren. Was kannst du beobachten?

3. Warte einige Minuten. Wenn keine Veränderung mehr zu erkennen ist, nimmst du den Würfel mit dem Löffel aus dem Wasser heraus und lässt ihn auf einem Papiertuch trocknen.
4. Untersuche den Würfel noch einmal vorsichtig! Aus welchem Material besteht er wohl?

	Verformung	Zersetzung
Aussehen		
Festigkeit		

5. Wiege ca. 0,15 g zerkleinertes Polystyrol in das Schnappdeckelglas.
6. Tropfe ca. 1,5 mL Essigsäureethylester auf das Material.
7. Schreibe deinen Namen auf die Glasschale und lege ein Würfelsuckerstück hinein.

8. Verteile die Polystyrollösung tropfenweise **so langsam** auf den Zucker, dass die Flüssigkeit jedes Mal in Zucker einsickert, bevor der nächste Tropfen kommt.
9. Stell die Glasschale unter einem Abzug und lass die Zuckerstücke trocknen.
10. Wenn das Lösungsmittel vollständig verdunstet und das Polystyrol ausgehärtet ist (ca. 1 Tag), kannst du den Zucker herauslösen.

Beobachtung

Erklärung

Name:

Datum:

Polystyrol als Gerüstsubstanz

Geräte

Schnappdeckelglas, Becherglas 250 mL, kleine Glaspetrischale, Tropfpipette, Glasstab

Materialien

Zerkleinertes aufgeschäumtes Polystyrol (Styropor® oder Verpackungschips), Essigsäureethylester, Wasser, Würfelzucker

Sicherheitshinweise

Handschuhe und Schutzbrille tragen! Dieser Versuch muss unter dem Abzug durchgeführt werden. Offene Feuerquellen vermeiden! Essigsäureethylester ist leichtentzündlich und reizend.

Durchführung

1. Wiege ca. 0,2 g zerkleinertes Polystyrol in das Schnappdeckelglas.
2. Tropfe ca. 1 -2 mL Essigsäureethylester auf das Material und rühre dann mit dem Glasstab um.
3. Lege das Würfelzuckerstück in die Glasschale.
4. Verteile die Polystyrollösung tropfenweise so langsam auf den Zucker, dass die Flüssigkeit jedes Mal in Zucker einsickert, bevor der nächste Tropfen kommt.
5. Lass die Zuckerstücke unter dem Abzug trocknen (dauert mehrere Stunden).
6. Fülle das 250 mL-Becherglas mit heißem Wasser und gib das Würfelzuckerstück hinein. Rühre regelmäßig um, ohne den Würfel dabei zu berühren.
7. Wenn sich kein Zucker mehr löst, gießt du das Wasser ab und lässt den Würfel auf einem Papiertuch trocknen.
8. Untersuche den Würfel vorsichtig! Aus welchem Material besteht er?

Beobachtung

Erklärung

Lehrerinformation

Schwerpunkt der Versuchsreihe ist einerseits aufzuzeigen, wie vielfältig ein und derselbe Grundstoff auftreten und dabei unterschiedliche Aufgaben erfüllen kann. Andererseits soll auch demonstriert werden, dass die äußere Form und das Erscheinungsbild eines Stoffes und daraus gefertigter Objekte veränderbar ist, ohne dass in die chemische Struktur des Stoffes eingegriffen wird. Die Schüler lernen die wichtige Gruppe der Thermoplaste und ihre grundlegenden Eigenschaften wie Filmbildung und Verstreckbarkeit kennen.

Das Verständnis für die molekulare Struktur und die sich daraus ergebenden Eigenschaften eines Stoffes soll durch die verschiedenen Arten der Umformung geweckt werden. Eine Umformung ist nur möglich, wenn die Moleküle in einem Feststoff ausreichend beweglich sind. Diese Bedingung ist in einem vernetzten Makromolekül nicht erfüllt, daher können Duroplaste nicht thermisch verformbar sein. In thermoplastischen Materialien liegen die Moleküle in langen Ketten vor, sind aber eben gerade nicht untereinander verbunden. Die Molekülbewegung kann thermisch induziert werden wie z.B. beim Tiefziehen oder auf Beweglichkeit in Lösung wie bei der Folienherstellung beruhen. Beim Tiefziehen gleiten die Ketten aneinander vorbei und ordnen sich parallel an. Dies führt zu höherer Ordnung der Moleküle und muss von außen induziert werden.

Eine Temperaturerhöhung führt zu einer Erhöhung der kinetischen Energie des erwärmten Stoffes und damit zu mehr Bewegung. Während Gase ihr Volumen ausdehnen wollen, nutzen die kettenförmigen Makromoleküle ihre Beweglichkeit, um die von ihnen bevorzugte Unordnung einzunehmen. Diese Möglichkeit haben duroplastische Moleküle aufgrund ihrer starken Vernetzung nicht, daher führt hier die Energiezufuhr letztendlich zur Zersetzung und damit zu einem Zustand höchster Unordnung.

Die Beweglichkeit der Moleküle in thermoplastischen Materialien steigt jedoch nicht proportional zur Temperaturerhöhung. Erst ab einer bestimmten Temperatur, der Glasübergangstemperatur, wird das Material formbar. Diese Temperatur ist stoffspezifisch, ihre Größe hängt von der Molekülstruktur ab. Allgemein gilt, je glatter eine Kette ist, desto niedriger ist die Glasübergangstemperatur des Materials, da die Ketten besser aneinander vorbeigleiten können.

Die Versuche zum Thema Polystyrol sprechen die SchülerInnen an, da sie viele bekannte Alltagsmaterialien wieder finden und in unterschiedlichen Funktionen erfassen. Bei der Durchführung bekommen sie außerdem eine Vorstellung von industriellen Prozessen bei Herstellung und Weiterverwertung.

Zu den Versuchen

1 Umschmelzen und Tiefziehen von Polystyrol

Der Kunststoff Polystyrol gehört zur Gruppe der Thermoplaste. Thermoplastische Kunststoffe bestehen aus langen fadenförmigen, im Gegensatz zu Duroplasten und Elastomeren unverzweigten und unvernetzten Makromolekülen (Abb. 1).

Bei tiefer Temperatur sind die Ketten wie „eingefroren“, können sich nicht bewegen. Ab einer stoffspezifischen Temperatur, der Glasübergangstemperatur T_G , werden die Ketten infolge der höheren kinetischen Energie beweglich, können sich gegeneinander verschieben. Der Stoff wird verformbar oder „plastisch“. Unterhalb der Glasübergangstemperatur verbleiben die Moleküle in ihrer Position, der daraus geformte Gegenstand in seiner Form. Auf dieser Eigenschaft beruht auch der Name: Thermoplast bedeutet

„durch Wärme formbar“. Wegen der guten Verarbeitbarkeit werden viele Verpackungen aus thermoplastischen Materialien hergestellt.

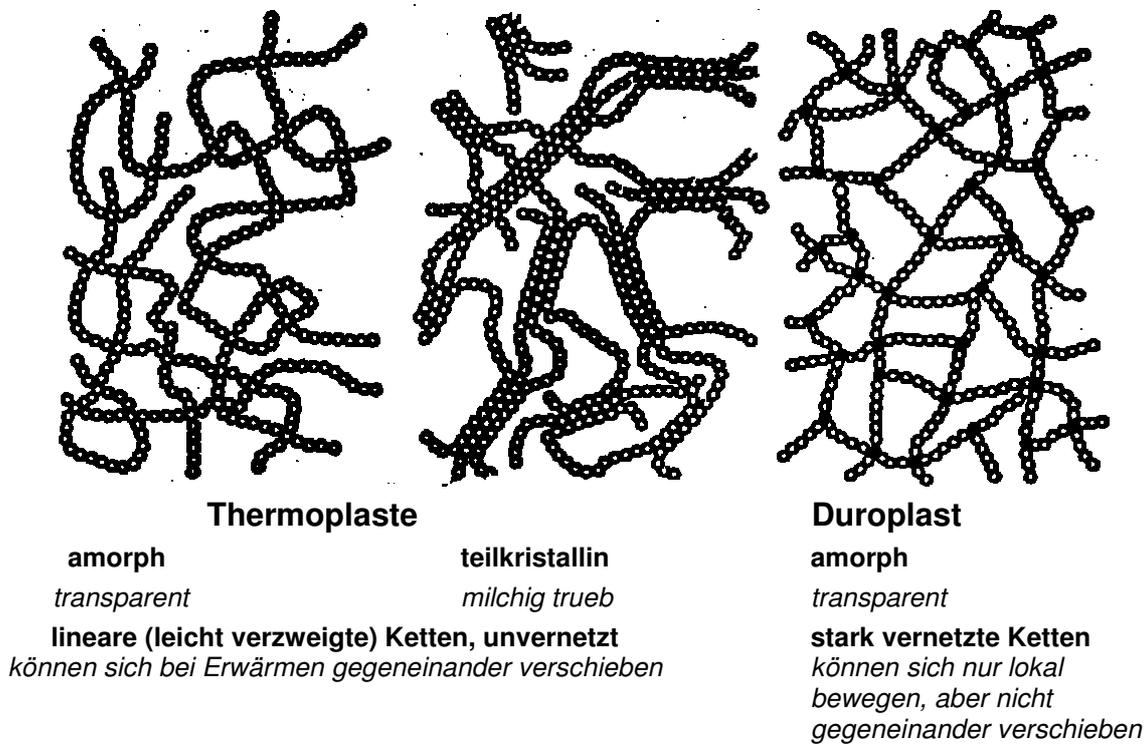


Abb. 1: Schematische Darstellung von Struktur-Eigenschaftsbeziehungen am Beispiel von Thermo- und Duroplasten

Ein Verfahren zur Herstellung von Behältern wie z.B. den im Versuch verwendeten Joghurtbechern aus Polystyrol ist das sogenannte Tiefziehen. Ausgangsmaterial sind Folien aus thermoplastischen Polymeren (z.B.: Polypropylen PP, Polystyrol PS, Polyvinylchlorid PVC). Die Folien werden über einer Form erhitzt und mittels eines Formstempels und gleichzeitigem Anlegen eines Unterdruckes in die gewünschte Form gebracht.

Die SchülerInnen können dies im Labor nachvollziehen. Das Zusammenschrumpfen des Joghurtbechers zu einer flachen Scheibe unterscheidet sich von einem ungeordneten Zusammenschrumpeln, was gut durch die dabei erhaltene Lesbarkeit des Becheraufdrucks erkennbar ist. Es soll in der Diskussion der Experimente und Beobachtungen herausgearbeitet werden, warum der Becher zu einer Scheibe zusammenschnurrt. Die infolge der Erwärmung erlangte Beweglichkeit der Polymerketten ist dafür noch kein ausreichender Grund. Der Becher könnte einfach instabil werden, leicht verbeulbar werden. Der Grund ist die Streckung der Moleküle in einer geordneten Orientierung, die man mit (trockenen) Spaghetti in einer Packung vergleichen kann. Moleküle mögen aber, wie die meisten Menschen auch, die Unordnung (Triebkraft: Entropiezunahme). Sie gehen daher, sowie sie aus ihrer Starre erlöst sind, vom beim Tiefziehen erzwungenen parallel ausgerichteten Zustand im Joghurtbecher in einen ungeordneten Zustand (so wie gekochte Spaghetti auf dem Teller) über. Was bei den Spaghetti das Wasser ist („Weichmacher“, der die Spaghetti verformbar macht), ist beim Polystyrol die Tempera-

tur, also die zugeführte Wärmeenergie. Die Polystyrolmakromoleküle befinden sich im Joghurt becher in einem „unfreiwilligen“, eingefrorenen geordneten Zustand, der sofort in Unordnung übergeht, wenn man die Moleküle aus ihrer Starre erlöst.

Ein zweiter wichtiger Punkt ist, dass die Glasübergangs- oder Erweichungstemperatur stoffspezifisch ist und auch viel tiefer liegen kann als bei Polystyrol (je nach Verarbeitungsbedingungen bei ca. 100 °C). Ein Gummischlauch ist z.B. bei Raumtemperatur leicht verformbar. Ich kann ihn verbiegen, aber er wird beim Loslassen seine stabilere Vorzugsform wieder einnehmen. Tauche ich ihn aber verformt in flüssigen Stickstoff, dann bleibt er solange in dieser erzwungenen Lage, bis beim Erwärmen T_G überschritten wird und die Moleküle sich wieder bewegen können.

T_G spielt z.B. auch beim Einfrieren von Lebensmitteln eine wichtige Rolle. Erst unterhalb von T_G sind die Makromoleküle (Biopolymere) in ihrer Beweglichkeit und somit auch Reaktivität so gehindert, dass sie keine Reaktionen eingehen, also auch chemisch stabil sind. T_G nimmt mit der Molmasse (Kettenlänge) zu, nähert sich dann aber einem Endwert.

Erklärung zum Versuch „Umschmelzen und Tiefziehen von Polystyrol“

In diesem Versuch soll ein Joghurtbecher in eine neue Form gebracht. Die Veränderungen im Material werden besonders anschaulich, wenn ein gemusterter Joghurtbecher verwendet wird werden (Abb. 2).



Abb. 2: Versuchsaufbau zum Umschmelzen und Tiefziehen von Polystyrol

Im Originalzustand des Bechers können die Schüler bereits Unterschiede in der Form des Musters erkennen. Bei gestreiften Bechern sind die Streifen am oberen Rand scharf und schmal, während sie im unteren Bereich viel breiter sind und „verschwommener“ erscheinen. Bei gepunkteten Becher sind die Punkte am oberen Rand klein und rund, während sie im Becherbereich langgestreckt sind.

Erweicht der Becher durch die zugeführte Hitze, gibt das Polymer die dreidimensionale Struktur auf und verflacht zu einer Scheibe. Das Muster sieht plötzlich einheitlich aus.

Wird die Scheibe dann wieder erwärmt und einem Unterdruck unterworfen, verformt sich das Material wieder in einen Hohlkörper. Die dadurch entstehende Spreizung der

Polymerstränge wird durch das Auseinanderziehen des Musters besonders deutlich sichtbar gemacht (Abb. 3).



Abb. 3: Joghurtbecher aus Polystyrol, links original, in der Mitte nach dem Erhitzen, rechts nach erneutem Tiefziehen

2 Styropor® recyceln

Die Basis von geschäumtem Polystyrol bilden drei natürliche Rohstoffe: Styrol, Pentan und Luft. Im vollständig aufgeschäumten Endzustand besteht es aus 98% Luft und 2% Polystyrol, dem festen Gerüst (Abb. 4). Je nach Anwendungsbereich und der dadurch erforderlichen Festigkeit variiert das Verhältnis zwischen Feststoff und Gas. In der Regel sind noch Pentanreste im Schaum eingeschlossen.



Abb. 4: Styropor in 200-facher Vergrößerung

Im industriellen Recyclingprozess wird durch Zugabe von frischen (also noch nicht aufgeschäumten) EPS-Perlen das Zusammenwachsen der einzelnen Teilchen unterstützt und damit eine bessere Festigkeit erzielt.

Erklärung zum Versuch „Styropor® recyceln“

Wenn man ein Gas erwärmt, will es sich ausdehnen (Zunahme des Volumens V). Hat es keinen oder zu wenig Raum dazu, erhöht sich der Druck (p), beides geschieht proportional zur Temperatur T . Dieser Regulierungsprozess lässt sich gut anhand der allgemeinen Gasgleichung nachvollziehen:

$$p \cdot V \sim T$$

Bei Styropor handelt es sich um einen festen thermoplastischen Schaum (Gemisch fest/gasförmig). Wird er erwärmt, erhöht sich einerseits der Druck im Inneren der Schaumbläschen, andererseits wird das Polystyrol-Gerüst bei Überschreitung der Glasübergangstemperatur verformbar. Dadurch wird es quasi „aufgeblasen“ wie ein Haufen Luftballons, die erwärmt werden und dann den größtmöglichen Raum einnehmen wollen.

Je dichter die Styroporreste im Behälter gepackt sind, desto höher wird der Druck. beim Erwärmen. Die einzelnen Styroporteilchen kommen in engen Kontakt mit ihren Nachbarn. Die aufgrund der erhöhten Temperatur beweglicheren Polymerstränge verknäulen an den Kontaktstellen miteinander. Beim Abkühlen entsteht ein kompakter Styroporblock (Abb. 5), dessen Festigkeit allerdings nicht so hoch ist wie die des Ausgangsmaterials.



Abb. 5: Aus Styroporstücken durch Erwärmen unter Druck recycelter Styroporblock

3 Umformen von Polystyrol durch Lösen

Das Umformen von geschäumtem Polystyrol gehört zum werkstofflichen bzw. physikalischen Recycling. Polystyrol löst sich gut in Essigsäureethylester, weniger gut in Aceton. Jedoch wird in beiden Fällen durch den Zusammenbruch der Schaumstruktur das Volumen deutlich reduziert. Beim Lösen von Polystyrol in Essigsäureethylester lagern sich die Lösungsmittelmoleküle in Solvathüllen um die Polystyrol-Moleküle. Diese werden dadurch räumlich voneinander getrennt. Erst durch das langsame Verdampfen des Lösungsmittels kommen die Polymerstränge wieder näher zusammen und in Wechselwirkungen treten, die jedoch schwach sind und keine räumliche Orientierung bewirken (z.B. van-der-Waals- oder hydrophobe Wechselwirkungen). Die Moleküle sind völlig ungeordnet und verlieren durch das verdampfende Lösungsmittel immer mehr von ihrer Beweglichkeit, die sie in Lösung hatten. Dies führt zu einer amorphen Struktur und da-

mit zur Transparenz, da durchscheinendes Licht nicht gebrochen wird. Dieses Merkmal kennt man vom Eiswürfel, der glasklar erscheint. Schnee dagegen ist kristallin und sieht weiß aus, weil an den Kristallflächen das Licht gebrochen wird.

In der Industrie wird Polystyrol-Folie durch Extrusion hergestellt. Extrusion (lat. extrudere = hinausstoßen, -treiben) bezeichnet das Herauspressen einer festen bis dickflüssigen härtbaren Masse unter Druck aus einer formgebenden Öffnung, z.B. Düse.

Erklärung zum Versuch „Umformen von Polystyrol durch Lösen“

Nach Zusatz von nur wenig Lösungsmittel (Ethylacetat) entsteht eine homogene zähflüssige Masse, die ggf. noch unlösliche Pigmente oder feine Feststoffe (Zuschlagstoffe) aufweisen kann. Durch weiteren Lösungsmittelzusatz entsteht eine leicht bewegliche Lösung, aus der sich eventuell vorhandene unlösliche Partikel durch Filtration abtrennen lassen. Aus der Lösung kann auf den Boden einer Glasschale eine dünne transparente Folie gegossen werden, die nach dem Verdampfen des Lösungsmittels vorsichtig von der Schale abgezogen werden kann (Abb. 6).



Abb. 6: Folie aus Polystyrol

Alternativ kann die Polystyrol-Folie auch in eine mit Aluminiumfolie ausgekleideten Glaspetrischale (die Aluminiumfolie zuerst glatt auf den Boden der Petrischale verlegen, damit ein ebener Untergrund vorliegt) gegossen werden, damit die SchülerInnen die Möglichkeit haben, die Folie mitzunehmen, selbst wenn das Lösungsmittel noch nicht vollständig entfernt und die Folie deshalb noch nicht abziehbar ist. (Achtung: keine Petrischalen aus Kunststoff verwenden, da sie vom Lösungsmittel angegriffen werden).

4 Wiederaufschäumen von Polystyrol

Auch bei diesem Versuch handelt es sich wie in Versuch 1 um werkstoffliches Recycling. Allerdings unterscheidet sich die Umformung mit Aceton von der Umformung mit Essigsäureethylester (Versuch 3). Obwohl beide Lösungsmittel das Polystyrol angreifen und es verformbar machen, wodurch das Styropors eindrucksvoll zusammenschnurrt, entsteht aus dem Aceton-Ansatz nur eine in sich zusammengefallene Masse, während Essigsäureethylester das Material in Lösung bringt, wo im Idealfall die Molekül vereinzelt und durch Solvathüllen voneinander getrennt vorliegen. Nach Zugabe von

Aceton bleiben die Makromoleküle in Kontakt miteinander. Das Lösungsmittel fungiert hier eher als Weichmacher, der die Ketten, ähnlich wie für die Temperatur erörtert, beweglich macht. Die Lufteinschlüsse können nicht vollständig entweichen. Daher erscheint die Masse milchig-trüb. Diese Undurchsichtigkeit ist ein typisches Kennzeichen von Lufteinschlüssen in festen, eigentlich transparenten Materialien

Es entsteht keine homogene Lösung, sondern eine zähflüssige milchige Masse, die sich auch nicht zu einer Folie ausgießen lässt. Nach dem Verdampfen des Acetons bleibt eine milchig scheinende feste Substanz übrig. Aceton kann sich also soweit zwischen die Polystyrolketten schieben, dass die eingeschlossenen Gase freigesetzt werden, die Schaumstruktur zerstört wird und das Polymer verformt werden kann, die Ketten werden aber nicht so weit voneinander getrennt, dass das Polystyrol als gelöst gelten kann.

Erklärung zum Versuch „Wiederaufschäumen von Polystyrol“

Im Labor kann aufgeschäumtes Polystyrol (Polystyrol-Chips) durch Wiederaufschäumen nach Umformung mit Aceton hergestellt werden. Dazu kann man entweder in die acetonehaltige Polystyrolmasse mittels einer Fritte ein Inertgas wie CO_2 einblasen, bis das Aceton verdampft ist. Man kann die Masse jedoch auch einfach erwärmen, sodass sich das noch im Material eingeschlossene Gas ausdehnt. Da das Aushärten beim Einblasen von CO_2 allerdings sehr langwierig ist, wird in diesem Versuch die einfachere und schnellere Variante des Erwärmens durchgeführt. Obwohl die Masse einen kompakten Eindruck macht, bleiben feine Lufteinschlüsse in ihr enthalten. Sie können nicht vollständig entweichen, weil die Makromoleküle durch das Aceton nicht vollkommen voneinander getrennt werden, und dehnen sich beim Erwärmen aus. Es entsteht wieder ein Schaum, allerdings nicht so fein wie beim Ausgangsmaterial, da weniger Gas enthalten ist. Die Schaumstruktur des entstandenen aufgeschäumten Polystyrol-Stücks ist im aufgeschnittenen Zustand unter der Lupe und auch schon mit bloßem Auge gut zu erkennen (Abb. 7). Die eingeschränkte Lösungskraft von Aceton im Vergleich zu Essigsäureethylester hat in diesem Versuch also einen entscheidenden Einfluss auf die Struktur des Produkts.



Abb. 7: Wiederaufgeschäumtes Polystyrol im Querschnitt

5 Polystyrol als Gerüstsubstanz

Poröse Feststoffe haben im Vergleich zu anderen Feststoffen gleicher Masse eine um ein Vielfaches größere Oberfläche. Diese enorme Oberfläche auf kleinem Raum kann genutzt werden, um komplexes Zellmaterial zu züchten. Tatsächlich wird dieses Verfahren zur Herstellung von Schablonen (sog. Scaffolds) angewendet, auf denen dann humane Knorpelzellen kultiviert werden. Die Zellen werden *in vitro* kultiviert, bis genügend Zellmaterial gewachsen ist, um es im beschädigten Bereich zu implantieren (z.B. für Knorpelgewebe der Ohrmuschel). Der Nährstofftransport und eine ausreichende mechanische Stabilität müssen gewährleistet sein.

Erklärung zum Versuch „Polystyrol als Gerüstsubstanz“

In diesem Versuch entsteht ähnlich wie beim Styropor eine Art Polystyrol-Schaum, allerdings nicht durch Expansion mittels Gas (diese Struktur ergäbe nicht miteinander verbundene Hohlräume, die keinen Stofftransport in Zellkulturen ermöglichen), sondern innerhalb einer festen (komplementären) Matrix. Die Poren sind auch sehr viel größer und stehen untereinander in Verbindung. Nachdem das Lösungsmittel verdunstet ist, härtet das Polystyrol aus und das formgebende Zuckergerüst wird mit heißem Wasser herausgelöst. Der Zuckerwürfel diente in diesem Fall also als Negativform für das entstehende Polystyrol-Gerüst.

Wenn das Beträufeln des Zuckerwürfels mit Polystyrol-Lösung und das anschließende Trocknen sorgfältig durchgeführt wurde, erhält man nach dem Herauslösen des Zuckers einen weißen Würfel in der ursprünglichen Form, der auf den ersten Blick genauso aussieht wie jeder normale Würfelzucker (Abb. 8). Allerdings ist er wasserunlöslich und schwimmt an der Wasseroberfläche. Aufgrund seiner feinen porösen Struktur ist er allerdings sehr druckempfindlich.

Entscheidend für einen guten Polystyrol-Würfel ist, dass das Lösungsmittel vollständig verdunstet ist, bevor der Zucker herausgelöst wird. Da Essigsäureethylester mit Wasser gut mischbar ist, setzt sich ansonsten das Polystyrol an der Wasseroberfläche ab und das Gerüst wird zerstört. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, die SchülerInnen selbst einen Würfel herstellen und ihn am gleichen Tag untersuchen zu lassen. Entweder man führt den Versuch an zwei Tagen durch, oder es müssen Würfel vorbereitet werden, die die Schüler untersuchen können, bevor sie selbst einen herstellen. Die Versuchsvorschrift liegt daher in zwei verschiedenen Fassungen vor, die alternativ je nach Zeitplan eingesetzt werden.

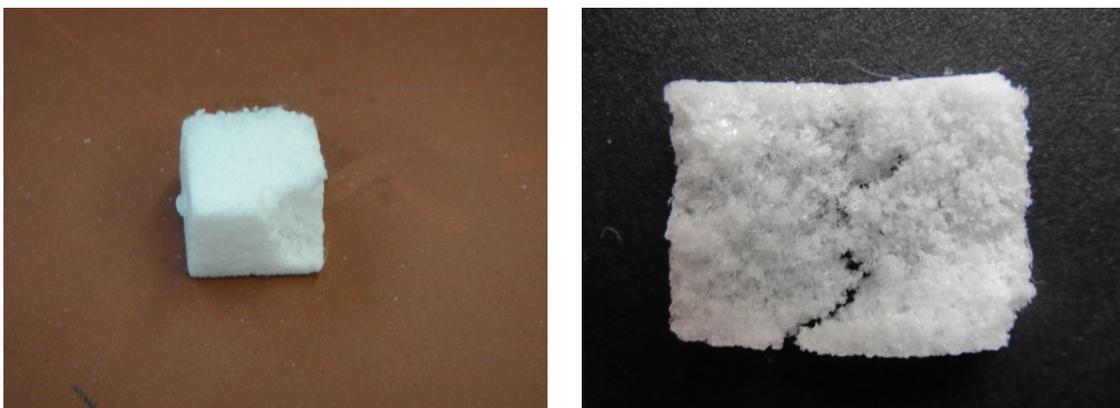


Abb. 8: Polystyrol-Gerüst als Würfel und als dünne Schicht