

# Polystyrol – Herstellung, Verarbeitung, Recycling

Dr. Verena Jannack und Dr. Dietmar J. Abt



© SergeyKlopotov/iStock / Getty Images Plus

Das Kapitel „Kunststoffe“ ist eines der großen Themen im Abitur aller Bundesländer. Die vorliegenden Materialien wurden mit dem Ziel erstellt, den Schülerinnen und Schülern eine Möglichkeit zu geben, die Inhalte dieses Themenblocks selbstständig neu zu erarbeiten oder vor der abschließenden Prüfung eigenständig zu wiederholen. Ausgehend von einem wissenschaftlichen Artikel ermöglichen die hier zusammengestellten Aufgaben, am Beispiel von Polystyrol, die meisten Inhalte des Bildungsplans für das Leistungsfach zu behandeln, die sich auf Kunststoffe beziehen, die durch radikalische Polymerisation hergestellt werden können. Ein Einsatz der Materialien im Basisfach ist ebenso möglich und wurde bereits erprobt. Eine Fortsetzung des Beitrags zur Erarbeitung der weiteren Bildungsplaninhalte (Polykondensation, Polyaddition, Duromere, Elastomere) ist ebenso in Planung wie eine passende Klausuraufgabe zur Thematik.

# Polystyrol – Herstellung, Verarbeitung, Recycling

Niveau: einführend, vertiefend

Klassenstufe: 12/13

Dr. Verena Jannack und Dr. Dietmar J. Abt

Methodisch-didaktische Hinweise	1
M1: Übersicht über die Materialien zu Kunststoffen	3
M2: Neue Recyclingmethode von Styrol	5
M3: Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation	9
M4: Herstellung von Polystyrol	12
M5: Das Tiefziehverfahren	13
M6: Glossar	16
Lösungen	18
Literatur	36
Gefährdungsbeurteilungen	37

VORANSICHT

## Kompetenzprofil:

<b>Niveau</b>	Einführend, vertiefend
<b>Fachlicher Bezug</b>	Kunststoffe, die durch radikalische Polymerisation hergestellt werden können
<b>Basiskonzepte</b>	Struktur-Eigenschafts-Beziehungen
<b>Erkenntnismethoden</b>	Strukturformeln der Monomer-Moleküle und sinnvolle Strukturformelausschnitte der Polymere darstellen und benennen (Polyethen, Polystyrol, Polymethylmethacrylat, Polyvinylchlorid, Polystyrol); einen Versuch zur Herstellung eines Polymerisats planen und durchführen
<b>Kommunikation</b>	den Zusammenhang zwischen den Eigenschaften von Kunststoffen und ihrer Struktur erläutern (Thermoplaste, kristalline und amorphe Bereiche); die Prinzipien wichtiger Kunststoffsynthesen mithilfe chemischer Formeln darstellen (Polymerisation), den Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation beschreiben (Radikalbildung, Kettenstart, Kettenwachstum, Kettenabbruch); Möglichkeiten zur Beeinflussung der Eigenschaften eines Kunststoffs begründen (Wahl der Monomer-Moleküle, Weichmacher, Reaktionsbedingungen)
<b>Bewertung/Reflexion</b>	die Verarbeitungsmöglichkeiten von Kunststoffen beschreiben (Spritzgießen, Tiefziehen, Kalandrieren, Extrudieren); die unterschiedlichen Verwertungsmöglichkeiten für Kunststoffabfälle bewerten (Werkstoffrecycling, Rohstoffrecycling, energetische Verwertung, Kompostierung)
<b>Inhaltliche Schwerpunkte</b>	Monomer-Moleküle, Polymere, Kunststoffe, radikalische Polymerisation, Polystyrol, Tiefziehen, Radikale, Recycling

## Überblick:

Legende der Abkürzungen:

AB Arbeitsblatt, GL Glossar, IN Information, TA Tafelbild, TX Text, SV Schülerver

Thema	Material	Materialart
Einleitung für die Schülerinnen und Schüler	M1	TA
Artikel zu einer neuen Recyclingmethode von Styrol, Themenbereich Kunststoffrecycling	M2	TX, AB
Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation am Beispiel Styrol/Polystyrol Übungen zum Mechanismus der radikalischen Polymerisation (inkl. Reaktionsbedingungen)	M3	IN, TA
Herstellung von Polystyrol (inkl. Experimentiervorschlag)	M4	AB, SV
Verarbeitung von Polystyrol (Bsp. Zerkleinern) (inkl. Experimentvorschlag)	M5	AB, SV
Glossar	M6	GL

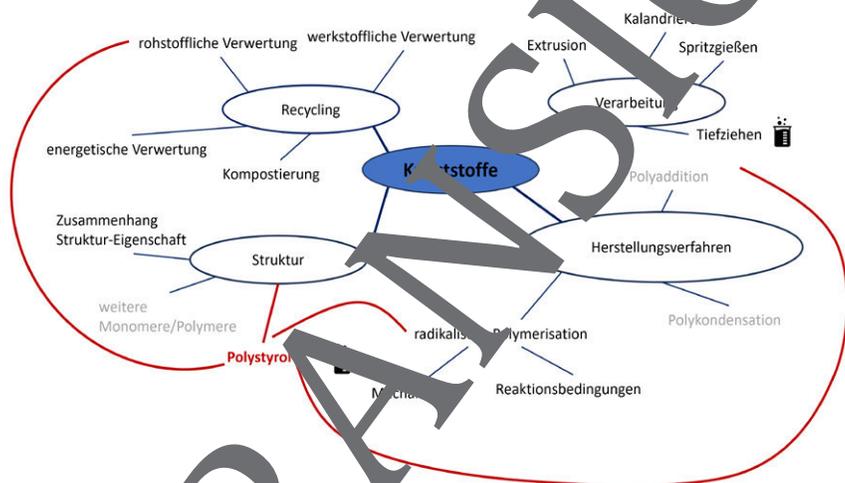
## Übersicht über die Materialien zu Kunststoffen

M1

Liebe Schülerinnen und Schüler,

das Kapitel „Kunststoffe“ ist eines der großen Themen im Abitur. Mit den hier zusammengestellten Materialien sollen Sie die Möglichkeit bekommen, am Beispiel Styrol, die Inhalte dieses Themenblocks **neu zu erarbeiten oder** vor der abschließenden Prüfung **eigenständig zu wiederholen**.

Damit Sie Ihren Lernprozess besser planen können, erhalten Sie hier zunächst einen **Überblick über die Inhalte** und anschließend über die Materialien, Aufgaben und Ziele.



© RAABE 2023

Abb. 1: Grober Überblick über das Kapitel Kunststoffe im Bildungsplan BW und die Inhalte, die in diesem Material am Beispiel Polystyrol erarbeitet/geübt werden können (in Grau und wichtige Themen in aufgeführt, die mit den Materialien nicht erarbeitet werden können).

Als Ausgangspunkt für Ihren Lernprozess dient ein Artikel aus der Zeitschrift Spektrum der Wissenschaft (M1). Anhand der gestellten Aufgaben (M2 bis M5) und ergänzenden Informationen können Sie sich den Lernstoff nach und nach selbst erschließen. Im Glossar (M6) finden Sie eine Zusammenstellung der wichtigsten Fachbegriffe aus diesem Themenbereich, hier können Sie jederzeit nachschlagen und für Sie neue Begriffe ergänzen.

Ausgehend von dem Zeitschriftenartikel **M2** zu einem neuen Forschungsansatz im Bereich Recycling von Polystyrol, beschäftigen sich die zugehörigen **Aufgaben** mit den vier aktuell eingesetzten Methoden des Kunststoffrecyclings sowie ihren Vor- und Nachteilen. Im Anschluss daran wird am Beispiel des Polystyrols ein Herstellungsverfahren für Kunststoffe – die radikalische Polymerisation – vorgestellt. Dabei können Sie sowohl den Mechanismus der Synthese beschreiben (**Aufgaben in M3**) als auch die Durchführung eines Experiments planen (**M4**). Je nach Leistungsstand und Anforderung, in der Abschlussprüfung haben Sie die Möglichkeit, Ihr Wissen über den Zusammenhang der Reaktionsbedingungen und der Eigenschaften des späteren Kunststoffes zu vertiefen. **M5** beschäftigt sich abschließend mit verschiedenen Verarbeitungsformen von Kunststoffen, die im Schulunterricht anhand verschiedener Experimente nachvollzogen werden können. Sprechen Sie dazu mit Ihrer Fachlehrkraft.

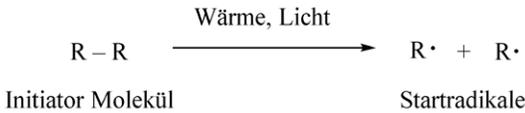
<b>Material M2</b>	Artikel zu einer neuen Recyclingmethode von Styrol, Themenbereich Kunststoffrecycling
<b>Material M3</b>	Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation, am Beispiel Styrol/Polystyrol Übungen zum Mechanismus der radikalischen Polymerisation (inkl. Reaktionsbedingungen)
<b>Material M4</b>	Herstellung von Polystyrol (inkl. Experimentiervorschlag)
<b>Material M5</b>	Verarbeitung von Polystyrol (Bsp. Tiefziehen) (inkl. Experimentiervorschlag)
<b>Material M6</b>	Verarbeitung von Kunststoffen

Tab. 1: Überblick über die Materialien

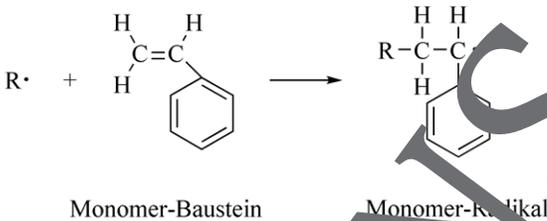
Zur Erarbeitung der im Hinblick auf das Abitur noch fehlenden Bildungsplaninhalte (Vergleichen Sie Abb. 1) werden weitere Materialien veröffentlicht werden. Sprechen Sie diesbezüglich mit Ihrer Chemielehrerin oder Ihrem Chemielehrer.

# Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation am Beispiel Styrol/Polystyrol M3

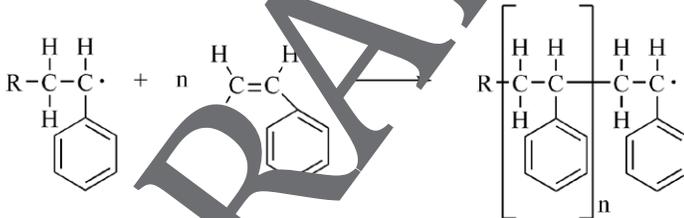
## (I) Bildung der Startradikale



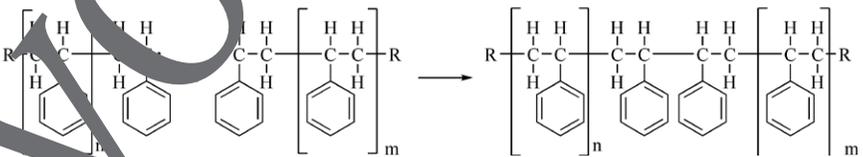
## (II) Kettenstart (Initiation, Erzeugung von Monomer-Radikalen)



## (III) Kettenwachstum (Kettenverl\u00e4ngerung, Propagation)



## (IV) Kettenabbruch (Termination)



© RAABE 2023

## Aufgaben

Polystyrol kann durch radikalische Polymerisation (Polymerisation, radikalische Polymerisierung) hergestellt werden. Dazu wird neben der Chemikalie Styrol (Phenylethen) auch Dibenzoylperoxid benötigt. Die Menge an zugegebenem Dibenzoylperoxid beeinflusst den entstehenden Kunststoff. Der Reaktionsmechanismus gliedert sich in die vier oben dargestellten Teilschritte.

1. **Beschreiben** Sie den Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation von Styrol in Worten.
2. **Erklären** Sie die Verwendung von Dibenzoylperoxid bei der Styrolpolymerisation.
3. **Begründen** Sie den Einfluss des Dibenzoylperoxids auf den Polymerisationsgrad des entstehenden Polystyrols.

Durch radikalische Polymerisation können auch andere Moleküle polymerisiert werden. Typische Kunststoffe, die durch radikalische Polymerisation entstehen, sind Polyethen (PE) und Polypropen (PP), die verbreitet als Verpackungsmaterialien eingesetzt werden, sowie Polyvinylchlorid (PVC), was man als Fußbodenbelag kennt. Je nachdem, wie man die Reaktionsbedingungen im Herstellungsprozess wählt, weisen die entstehenden Kunststoffe verschiedene Eigenschaften auf.

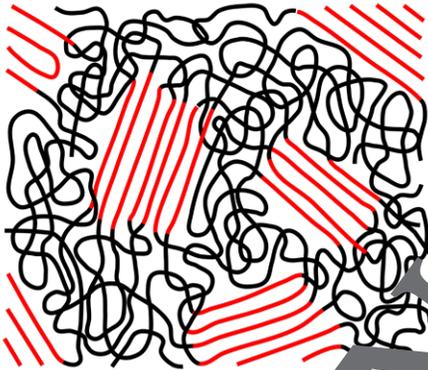
4. **Nennen** Sie das strukturelle Merkmal, das ein Molekül besitzen muss, sodass eine radikalische Polymerisation stattfinden kann.
5. **Beschreiben** Sie den Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation, der zu Polyethen führt, unter Verwendung von geeigneten Formeldarstellungen und kurzen Texten.
6. **Beschreiben** Sie den Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation so, dass er auch für die anderen genannten Kunststoffe verwendet werden kann.

## Weiterführende Teilaufgaben

Polyethen kann in zwei Varianten synthetisiert werden:

- Hochdruck-Polyethen ( $p = 1400 - 3500 \text{ bar}$ ,  $\vartheta = 150 - 300 \text{ °C}$ )
- Niederdruck-Polyethen (Katalysator,  $p = 1 - 50 \text{ bar}$ ,  $\vartheta = 50 - 150 \text{ °C}$ ).

Durch den hohen Druck entstehen verzweigte Moleküle, die ungeordnet (amorph) vorliegen, während die Polymerketten im Niederdruck-Polyethen nicht verzweigt sind und sich teilweise parallel anordnen (teilkristallin).



© Roland.chem/wikimedia Commons CC0 1.0 Universal (CC0 1.0)

Abb. 1: unternetztes Polymer mit teilkristalliner Struktur (gerade, rot) und amorphen Bereichen (ungeordnet, schwarz).

7. **Begründen** Sie auf Teilchenebene, wie sich die Dichte und die Schmelztemperatur der beiden Kunststoffe unterscheiden.
8. **Formulieren** Sie eine Reaktionsgleichung für eine Verzweigung in einem Hochdruck-Polyethen-Molekül.

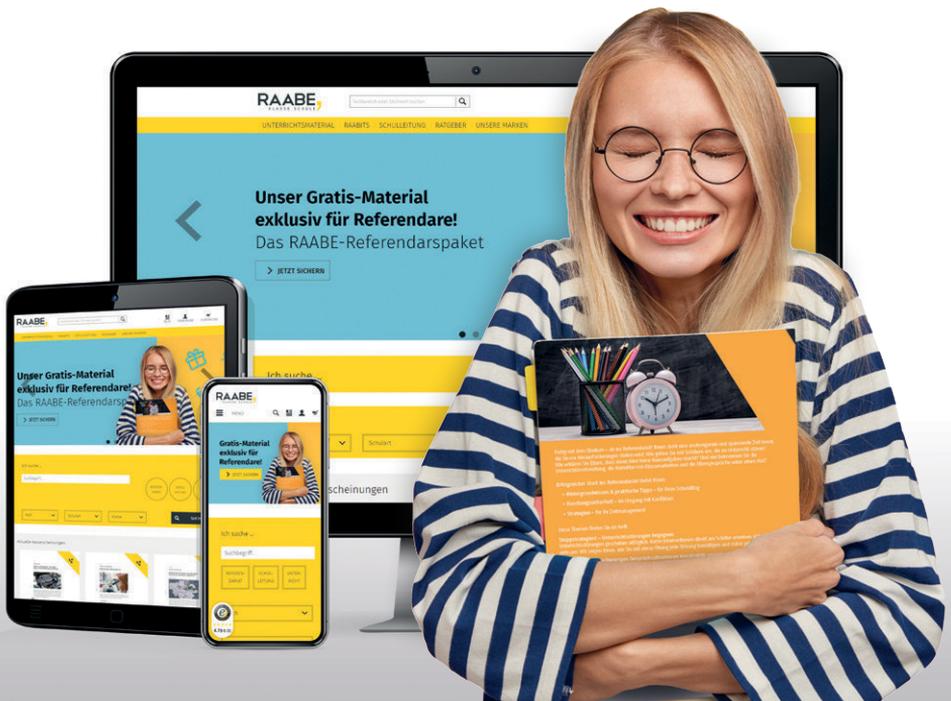
**Hinweis:** Ein Radikal reagiert mit einer bestehenden Polymerkette.



Polyvinylchlorid (PVC), das Polymer von Chlorethen (Vinylchlorid), zeichnet sich durch eine hohe Festigkeit aus, sodass sich das Material beispielsweise für Rohre einsetzen lässt. Durch Zusatz von Weichmachern (große, sperrige Moleküle, z. B. Phthalate) wird der Kunststoff weicher und elastischer und kann dann auch für Schläuche oder Fußbodenbeläge eingesetzt werden.

9. **Begründen** Sie die hohe Festigkeit des Kunststoffes anhand seiner Struktur und die Veränderung der Eigenschaften durch den Zusatz von Weichmachern.

# Sie wollen mehr für Ihr Fach? Bekommen Sie: Ganz einfach zum Download im RAABE Webshop.



**Über 5.000 Unterrichtseinheiten**  
sofort zum Download verfügbar



**Webinare und Videos**  
für Ihre fachliche und  
persönliche Weiterbildung



**Attraktive Vergünstigungen**  
für Referendar:innen mit  
bis zu 15% Rabatt



**Käuferschutz**  
mit Trusted Shops



Jetzt entdecken:  
**www.raabe.de**