

# 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.

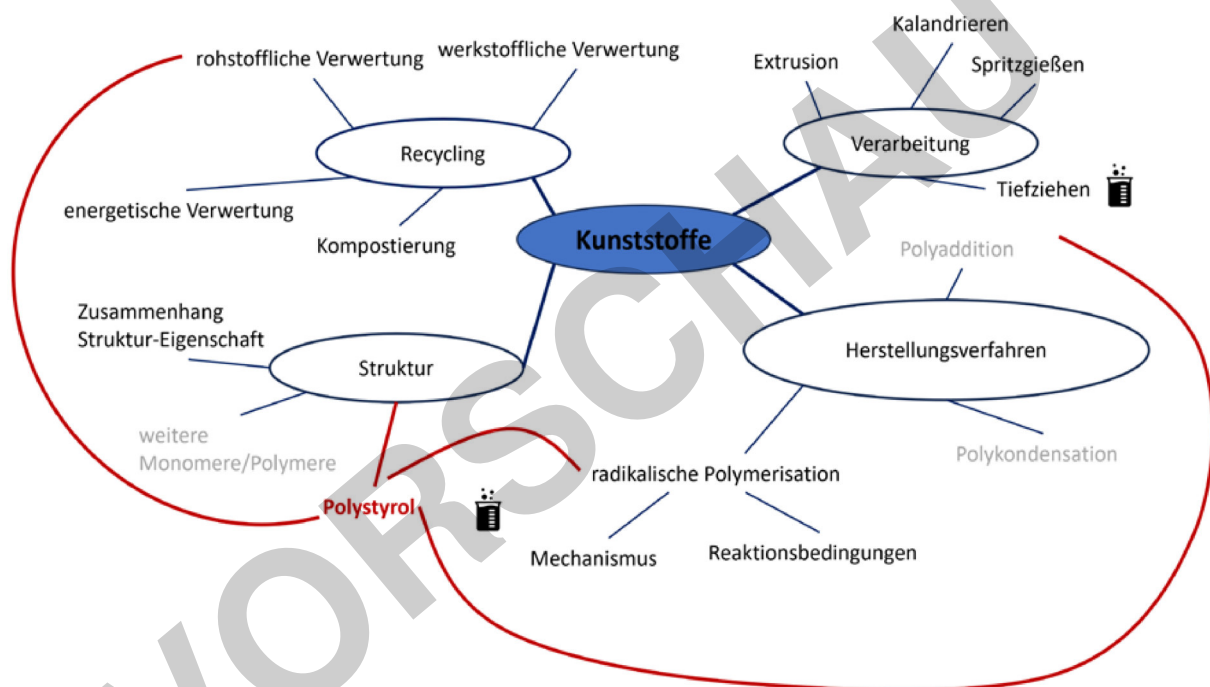
## Übersicht über die Materialien zu Kunststoffen

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 sind wichtige Themen aufgeführt, die mit den Materialien nicht erarbeitet werden können).

Als Ausgangspunkt für Ihren Lernprozess dient ein Artikel aus der Zeitschrift Spektrum der Wissenschaft (**M2**). 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 Anforderungen in der Abschlussprüfung haben Sie die Möglichkeit, Ihr Wissen über den Zusammenhang der Reaktionsbedingungen und der Eigenschaften des späteren Kunststoffs zu vertiefen. **M5** beschäftigt sich abschließend mit verschiedenen Verarbeitungsmethoden 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. Experimentvorschlag)
<b>Material M6</b>	Glossar

Tab. 1: Überblick über die Materialien

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

## Neue Recyclingmethode von Styrol

M2

### Licht, Luft und Salz erzeugen Rohstoffe aus Abfall

Mit einem neuen Verfahren zum Recycling von Kunststoff lässt sich Polystyrol – Hauptbestandteil von Styropor – in wertvolle kleine Moleküle zerlegen, die als Grundstoffe für die chemische Industrie dienen. Die Technik benötigt dafür nur Licht, Luft und das einfache Molekül Eisen(III)-chlorid, berichten Sewon Oh und Erin E. Stache von der Cornell University in Ithaca im US-Bundesstaat New York. Wie sie im »Journal of the American Chemical Society« berichten, lösten sie Polystyrol in dem häufig verwendeten Lösungsmittel Azeton zusammen mit Eisenchlorid und Luftsauerstoff und bestrahlten die Mischung 20 Stunden lang mit weißem Licht. Dabei zerfielen die langen Molekülketten des Kunststoffs in ihre Einzelteile, überwiegend Benzolringe mit angehängten Gruppen aus Kohlenstoff, Sauerstoff sowie verschiedenen weiteren Elementen. Diese Benzoylverbindungen sind wichtige Grundstoffe für vielerlei chemische Prozesse.

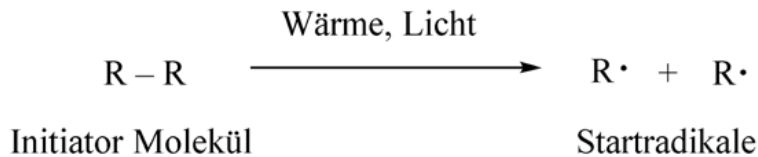
Die von Oh und Stache entwickelte Methode basiert auf der Zersetzung der Polymerketten mithilfe von Chlorradikalen und Sauerstoff. Das Licht spaltet die Bindung zwischen Chlor und Eisen, sodass chemisch sehr reaktive Chloratome entstehen. Diese entreißen den Molekülketten des Polystyrols Wasserstoffatome an jenen Stellen, an denen die Bausteine des Polymers miteinander verknüpft sind. Dadurch wiederum greift Sauerstoff dort an und zerlegt das Kettenmolekül in seine Grundbausteine. Nach Angaben der Fachleute ist der Prozess sehr effizient, das wichtigste Produkt ist Benzoesäure, ein Grundstoff in der chemischen Industrie, der auch zur Konservierung von Lebensmitteln genutzt wird.

Die Technik zeigt einen potenziell bedeutsamen Weg zum nachhaltigen Recycling von Kunststoffen auf. Während bei

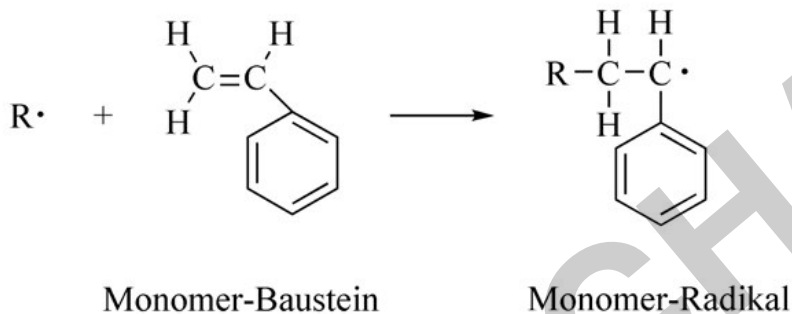
# Reaktionsmechanismus der radikalischen Polymerisation am Beispiel Styrol/Polystyrol

M3

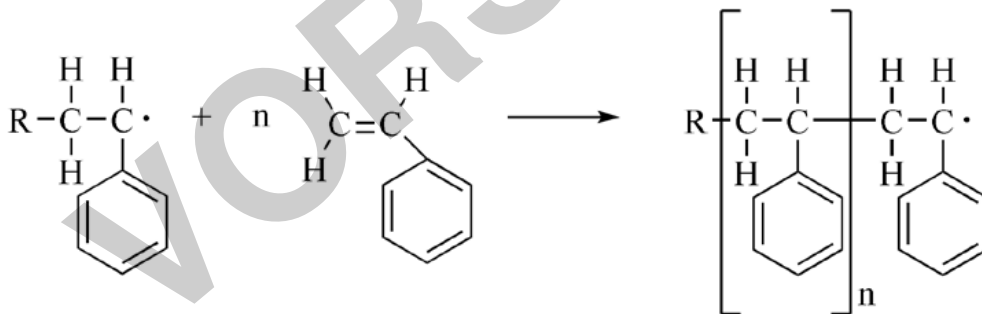
## (I) Bildung der Startradikale



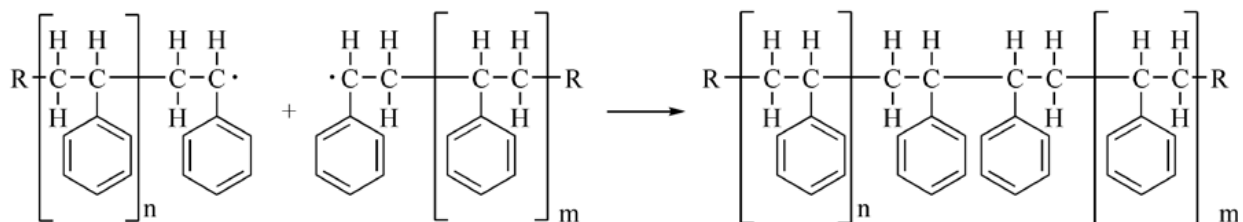
## (II) Kettenstart (Initiation, Erzeugung von Monomer-Radikalen)



## (III) Kettenwachstum (Kettenverlängerung, 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.

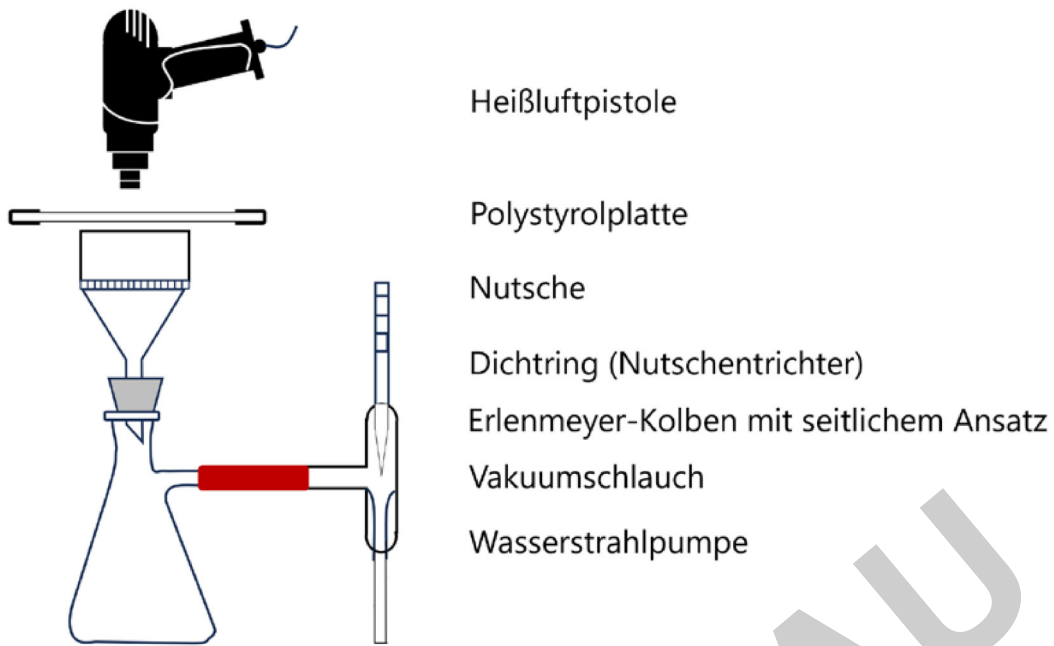


Abb. 1: Versuchsaufbau Tiefziehen Polystyrol – schematisch

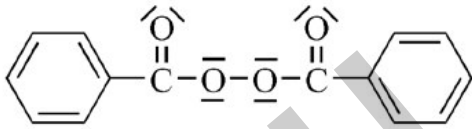


Fotos: Dr. Verena Jannack und Dr. Dietmar J. Abt

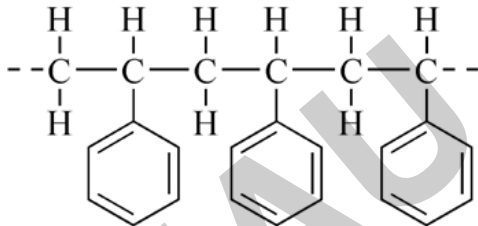
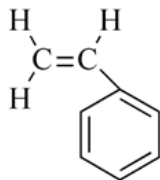
Abb. 2: Versuchsaufbau Tiefziehen Polystyrol

© RAABE 2023

## M6 Glossar

amorph	Eigenschaft eines Stoffes, dessen Teilchen absolut ungeordnet vorliegen
Dibenzoylperoxid	<p>Stoff, der Radikale bilden kann. Wird häufig als Radikalstarter bei der radikalischen Polymerisation eingesetzt.</p> 
Energetische Verwertung	
Monomer (Monomer-Molekül)	Edukt zur Herstellung eines Polymers, strukturgebende Einheit (auch: Monomer-Baustein)
Kompostierung	
kristallin	Eigenschaft eines Stoffes, dessen Teilchen regelmäßig angeordnet sind (z. B. Salze)
Phthalate	Salze oder Ester der Phthalsäure (1,2-Dicarboxybenzol)
Polyaddition	Herstellungsverfahren für Kunststoffe aus Monomer-Molekülen mit mehreren funktionellen Gruppen
Polykondensation	
Polymer	Makromolekül, das aus wiederkehrenden Monomer-Molekülen (hier: Struktureinheiten) aufgebaut ist



Polymerisation	Herstellungsverfahren für Kunststoffe aus Monomer-Molekülen mit Doppelbindung (auch radikalische Polymerisation oder Polymerisierung genannt)
Polymerisationsgrad	Der Polymerisationsgrad gibt die (durchschnittliche) Anzahl an Monomer-Molekülen in einem Kunststoff an.
Polystyrol	Kunststoff, der bei der Polymerisation von Styrol entsteht. Er kann z. B. zu Joghurtbechern oder Styropor weiter-verarbeitet werden. 
Radikal	Teilchen mit einem freien Elektron, sehr reaktiv
Rohstoffliche Verwertung (Rohstoffrecycling)	
Styrol	Auch: Phenylethen Edukt/Monomer-Molekül zur Herstellung von Polystyrol 
Werkstoffliche Verwertung (Werkstoffrecycling)	

Hinweis: Die fehlenden Begriffe werden im Rahmen der Aufgaben selbst erklärt.

