

# KLAUSUR – Epoxidharze (Duroplast) und Polycarbonat (Thermoplast) LK

## Material

Epoxidharze gehören zu den bedeutendsten duroplastischen Kunststoffen der modernen Technik. Sie wurden ab den 1930er Jahren entwickelt, unter anderem von Pierre Castan (Schweiz) und Sylvan Greenlee (USA). Epoxidharze basieren meist auf dem Reaktionsprodukt aus Bisphenol A und Epichlorhydrin. Das daraus entstehende Diglycidylether (DGEBA) besitzt zwei hochreaktive Epoxidringe, die bei Zugabe eines Härters (z. B. Polyamine) geöffnet werden können und zu einem dreidimensional vernetzten Polymeren führen.

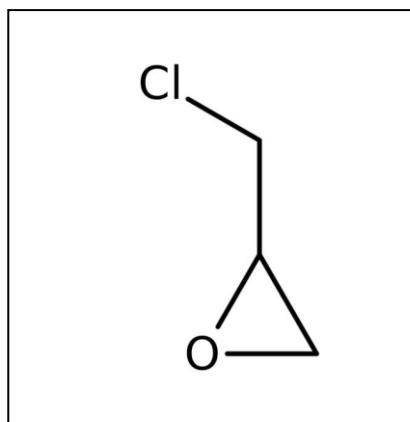
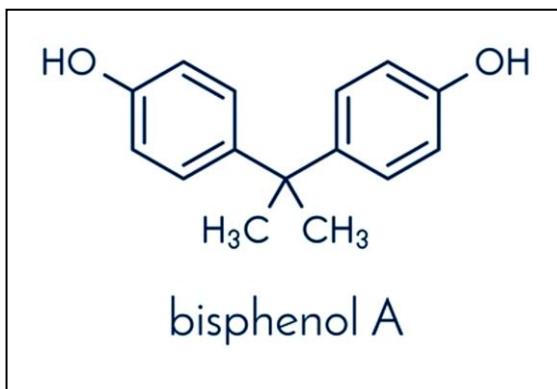


Abb. 1: Struktur von Bisphenol A]

Abb. 2: Struktur von Epichlorhydrin

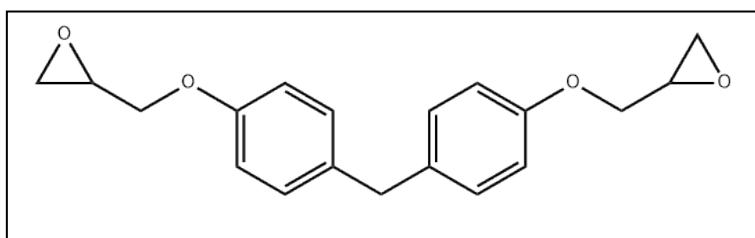


Abb. 3: Struktur des Diglycidylethers von Bisphenol A (DGEBA)

Epoxidharze weisen nach Aushärtung hohe Festigkeit, ausgezeichnete Adhäsion, chemische Beständigkeit und thermische Stabilität auf. Typisch ist die irreversible Vernetzung: Das Material ist nicht schmelzbar und kann bei Erwärmung nur zersetzen, nicht fließen. Epoxidharz wird in vielen Bereichen eingesetzt, darunter in der Bauindustrie (Bodenbeschichtungen, Klebstoffe), im Bootsbau (Abdichtung, Laminierung) und in der Elektronik (Isolierung).

Polycarbonat (PC) wurde 1953 fast gleichzeitig von Daniel W. Fox und Hermann Schnell entdeckt. Industriell wird es meist durch Reaktion von Bisphenol A mit Phosgen hergestellt; die Carbonatgruppen bilden lineare Ketten mit hoher Transparenz, Zähigkeit und Festigkeit. Moderne Herstellungsverfahren arbeiten zunehmend phosgenfrei. Trotz aromatischer Strukturelemente ist Polycarbonat ein schmelzbarer Thermoplast.

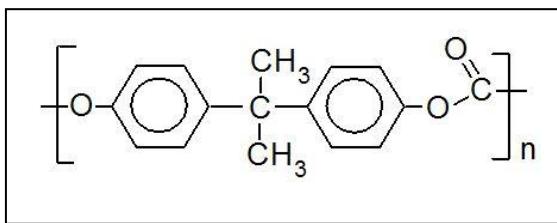


Abb. 6: Wiederholungseinheit eines Polycarbonats mit Carbonatbrücke

Epoxidharze und Polycarbonate nutzen teilweise dasselbe Ausgangsmolekül (Bisphenol A), unterscheiden sich jedoch grundlegend hinsichtlich Reaktionsmechanismus, Vernetzungsdichte, thermischem Verhalten und Materialeigenschaften.

## AUFGABEN

### 1. Analyse der Ausgangsstoffe (6 BE)

- 1.1 Identifizieren Sie in Abb. 1 und Abb. 5 die funktionellen Gruppen von Bisphenol A.
- 1.2 Beschreiben Sie, welche strukturellen Elemente des Moleküls eine spätere Vernetzbarkeit bzw. Kettenbildung ermöglichen.
- 1.3 Benennen Sie die funktionelle Gruppe, die im Polycarbonat als Brückeneinheit fungiert.

### 2. Reaktivität der Epoxidgruppe und Netzwerkbildung (8 BE)

- 2.1 Erläutern Sie, warum Epoxidringe besonders reaktiv sind.
- 2.2 Formulieren Sie die Teilreaktion der Epoxidringöffnung durch ein Diamin (siehe Abb. 4). Geben Sie die entstehenden funktionellen Gruppen an.
- 2.3 Erklären Sie, wie aus dieser Reaktionsart ein dreidimensionales Netzwerk entsteht und warum dieses nicht schmelzbar ist.

### 3. Einordnung des Mechanismus (6 BE)

- 3.1 Ordnen Sie die Härtung eines Epoxidharzes einer der Kategorien „Polymerisation“, „Polykondensation“ oder „Vernetzungsreaktion“ zu und begründen Sie.
- 3.2 Erklären Sie, warum bei der Aushärtung kein kleines Molekül abgespalten werden muss.
- 3.3 Nennen Sie einen technischen Vorteil dieses Reaktionsmechanismus.

### 4. Rückschluss vom Polymer auf das Monomer (6 BE)

- 4.1 Leiten Sie aus der Struktur in Abb. 3 das Epoxid-Monomerfragment ab.
- 4.2 Ordnen Sie den Molekülteil zu, der aus Epichlorhydrin stammt.
- 4.3 Beschreiben Sie, wie sich aus einem Polymersegment das ursprüngliche Monomer rekonstruieren lässt (ohne vollständige Depolymerisation).

### 5. Polycarbonat – Mechanismus und Struktur (7 BE)

- 5.1 Beschreiben Sie die Reaktion von Bisphenol A mit Phosgen zur Bildung von Polycarbonat (vereinfacht).
- 5.2 Zeichnen Sie die Wiederholungseinheit des Polycarbonats (Platzhalter in Abb. 7).
- 5.3 Erläutern Sie, warum Polycarbonat trotz aromatischer Gruppen ein Thermoplast und kein Duroplast ist.

### 6. Vergleich Epoxidharz–Polycarbonat (7 BE)

Vergleichen Sie beide Kunststoffe hinsichtlich:

- 6.1 Vernetzungsdichte
- 6.2 molekularer Beweglichkeit
- 6.3 thermischem Verhalten (Schmelzen, Zersetzen, Tg)
- 6.4 mechanischen Eigenschaften (Härte, Zähigkeit, Schlagfestigkeit)
- 6.5 Recyclingfähigkeit

Begründen Sie jeden Punkt mit der Molekülstruktur.

# **Erwartungshorizont**

---

## **Aufgabe 1 – Erwartet wird (6 BE):**

- 1.1 Bisphenol A: zwei Phenolgruppen –OH; aromatische Ringe; Isopropyliden-Brücke
  - 1.2 aromatische Einheiten geben Steifigkeit; zwei Hydroxygruppen ermöglichen Reaktivität; zentrale Brücke ermöglicht Kettenverlängerung oder Vernetzung
  - 1.3 Carbonatgruppe –O–(C=O)–O– als Brückeneinheit im Polycarbonat
- 

## **Aufgabe 2 – Erwartet wird (8 BE):**

- 2.1 Epoxidring: starke Ringspannung; polarisiertes C–O; guter Angriffspunkt für Nukleophile
  - 2.2 Diamin öffnet Epoxid: Bildung von β-Hydroxy-Amin-Gruppen; neue C–N- und C–O-Bindungen
  - 2.3 Vernetzung durch bifunktionelle Härter; jede Epoxidgruppe reagiert in zwei Richtungen → 3D-Netzwerk; kovalent vernetzt → nicht schmelzbar
- 

## **Aufgabe 3 – Erwartet wird (6 BE):**

- 3.1 Einordnung als Vernetzungsreaktion; Polymergerüst entsteht durch Öffnung der Epoxide und Ausbildung neuer Bindungen
  - 3.2 keine Abspaltung kleiner Moleküle, da Ringspaltung Additionscharakter hat
  - 3.3 Vorteil: geringer Schrumpf; hohe Dimensionsstabilität; präzise Aushärtung
- 

## **Aufgabe 4 – Erwartet wird (6 BE):**

- 4.1 Epoxid-Monomerfragment enthält terminale Epoxidgruppen
  - 4.2 Epichlorhydrin liefert Epoxidring + CH<sub>2</sub>-Brücke
  - 4.3 Rückschluss über Identifikation der funktionellen Gruppen und Wiedererkennen der Epoxid-Enden
- 

## **Aufgabe 5 – Erwartet wird (7 BE):**

- 5.1 Reaktion: Bisphenol A + Phosgen → Carbonatgruppen; Bildung linearer Ketten
  - 5.2 Wiederholungseinheit: aromatische Ringe –O–CO–O– verbunden
  - 5.3 lineare Struktur ohne Vernetzung; nur Endgruppen reaktiv; keine funktionellen Gruppen für 3D-Vernetzung
- 

## **Aufgabe 6 – Erwartet wird (7 BE):**

- 6.1 Epoxidharz stark vernetzt; PC linear
  - 6.2 Bewegung im PC möglich; im Epoxidharz kaum
  - 6.3 PC schmelzbar; Epoxidharz zerstetzt sich
  - 6.4 Epoxidharz hart/spröde; PC zäh/schlagfest
  - 6.5 PC teilweise recycelbar; Epoxidharz nicht recycelbar wegen irreversibler Vernetzung
- 

**GESAMTPUNKTZAHL: 40 BE**