

## Aufgabe 4

### Polyurethane - vielseitige Kunststoffe

#### Schwerpunktthema: Kunststoffe

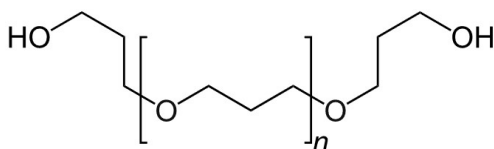
Polyurethan (PUR) wurde erstmals 1937 durch die Arbeitsgruppe um Otto Bayer in den Labors der I.G. Farben in Leverkusen hergestellt. Bedingt durch die Rohstoffknappheit im Zweiten Weltkrieg entwickelte sich der Markt für Polyurethan zunächst sehr langsam. Jedoch lassen sich die Eigenschaften der Polyurethane durch die Variation der Ausgangsstoffe präzise steuern, so dass sie heute aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken sind. 2011 betrug die Produktion allein in Deutschland knapp 1 Million Tonnen. Aus Polyurethan werden u.a. Matratzen, Schuhsohlen, Dichtungen, Schläuche, Fußböden, Dämmstoffe, Lacke, Klebstoffe, Dichtstoffe, Skier, Autositze, Laufbahnen in Stadien, Armaturenbretter und latexfreie Kondome hergestellt.

Abbildung aus  
urheberrechtlichen  
Gründen entfernt

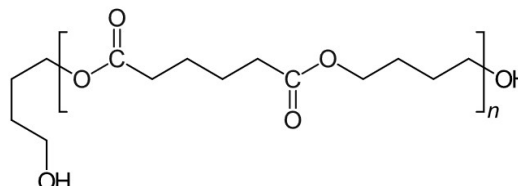
Abb. 1: Otto Bayer 1952

Heute werden UV-stabile Lacke für die Automobil- und Möbelindustrie aus Polyolen wie 1,4-Butandiol und Diisocyanaten wie Hexan-1,6-diisocyanat (HDI) hergestellt. Jedoch basiert die Mehrheit der heute verwendeten Polyurethane auf aromatischen Di- oder Triisocyanaten, die mit Polyolen umgesetzt werden. Als Dirole werden fast ausschließlich Polyether (a) oder Polyester (b) mit endständigen OH-Gruppen verwendet. Häufig werden auch Triole wie Glycerin (Propan-1,2,3-triol) eingesetzt. Diese Polyurethane haben dann deutlich andere Eigenschaften wie die auf Diolen basierenden Polyurethane.

a) Polyether



b) Polyester



**Material 1:** Informationen zu Polyurethanen

Polyurethane werden häufig geschäumt eingesetzt z.B. als Hartschäume zum Dämmen oder Weichschäume für Polstermöbel oder Schwämme. Während bei ersteren häufig ein niedrig siedendes Lösungsmittel wie Pentan zum Reaktionsgemisch zufügt, wird für die Herstellung von Weichschwämmen häufig Wasser zum Aufschäumen zugesetzt. Beide Reaktionen finden bei Raumtemperatur statt und in beiden Fällen erwärmt sich die Reaktionsmischung.

Abbildung aus  
urheberrechtlichen  
Gründen entfernt

**Material 2:** Aufschäumen von Polyurethanen

Haushaltsschwämme  
aus Polyurethan

<p>Moderne Polyurethane können zugleich die Eigenschaften von Thermoplasten und Elastomeren vereinen. Sie werden als thermoplastische Polyurethan-Elastomere bezeichnet. Ein Beispiel hierfür sind die sogenannten Elastollane®. Sie sind elastisch und dennoch formstabil und werden z.B. für die Herstellung von Schuhsohlen, die Ummantelung von Kabeln oder für Bauteile von Autos wie die Seitenteile beim Citroën Cactus (siehe Abbildung) eingesetzt.</p> <p>Je nach eingesetztem langkettigem Diol unterscheiden sich die entstehenden Elastomere in ihren Eigenschaften: Elastomere mit Polyestern weisen im Gegensatz zu solchen mit Polyethern eine bessere Beständigkeit gegenüber Mineralölen auf. Elastomere mit Polyetherketten sind hingegen hydrolysebeständiger als solche mit Polyesterketten. Während Elastomere mit Polyesterketten auch in der Wärme unter Belastung noch ihre Form beibehalten, weisen Elastomere mit Polyetherketten eine geringere Wärmeformbeständigkeit auf. Dafür bleiben sie auch in der Kälte noch flexibel.</p>	<p><b>Citroën Cactus</b></p> <p><b>Abbildung</b> <b>aus</b> <b>urheberrechtlichen</b> <b>Gründen</b> <b>entfernt</b></p>
<p><b>Material 3:</b> Informationen zu thermoplastischen Polyurethan-Elastomeren wie Elastollan®</p>	

#### Aufgaben:

- 4.1 Geben Sie die Reaktionsgleichung unter Verwendung von Strukturformeln für die Herstellung des Polyurethans aus 1,4-Butandiol und HDI an. Benennen Sie die vorliegende Polyreaktionsart und geben Sie eine Definition dafür an. (Material 1) **(6 BE)**
- 4.2 Vergleichen Sie die jeweils unterschiedlichen räumlichen Strukturen der Polyurethane aus HDI und 1,4-Butandiol sowie HDI und Glycerin. Leiten Sie die unterschiedlichen thermischen und mechanischen Eigenschaften der beiden Polyurethane ab. Benennen Sie die jeweiligen Kunststofftypen. (Material 1) **(8 BE)**
- 4.3 Vergleichen Sie die Vorgänge beim Aufschäumen bei Weich- und Hartschäumen und geben Sie die Reaktionsgleichungen für stattfindende Reaktionen an. (Material 2) **(7 BE)**
- 4.4 Erklären Sie die unterschiedlichen Eigenschaften der Elastollane mit unterschiedlichen Diolen (Polyetherketten oder Polyesterketten) auf molekularer Ebene. (Material 1 und 3) **(9 BE)**

**Aufgabe 4 Erwartungshorizont und Bewertung nach Anforderungsbereichen**

Erwarteter Inhalt oder Lösungsskizze		Bewertung		
		I	II	III
4.1	<p><b>Abbildung aus urheberrechtlichen Gründen entfernt</b></p> <p>Es handelt sich um eine Polyaddition, da zwei unterschiedliche Monomere als Edukte vorliegen und kein kleines Molekül wie bei der Polykondensation abgespalten wird.</p>	2	4	
4.2	<p>Wird 1,4-Butandiol und HDI im Verhältnis 1:1 umgesetzt, entsteht ein Thermoplast. Die linearen Polyurethanmoleküle werden nur durch zwischenmolekulare Wechselwirkungen zusammengehalten, so dass dieser Kunststofftyp schnell beim Erwärmen schmilzt und leicht verformbar ist. Wird HDI mit Glycerin umgesetzt, so entsteht entweder ein Elastomer oder ein Duroplast. Beide weisen durch Elektronenpaarbindungen eine Raumerfüllung auf, die beim Duroplasten jedoch engermaschiger ist. Beide Kunststofftypen zersetzen sich beim Erwärmen.</p>	6	2	
4.3	<p>Weichschäume: Beim Aufschäumen mit Wasser findet eine exotherme chemische Reaktion des Isocyanats mit Wasser statt. Dabei wird CO<sub>2</sub> gebildet. Es muss ein Überschuss an Diisocyanat bei der Reaktion vorliegen, da ein Teil mit dem Wasser reagiert.</p> $R-NCO + H_2O \rightarrow R-NH_2 + CO_2$ <p>Hartschäume: Bei der Bildung des Polyurethans wird durch die exotherme Reaktion Wärme freigesetzt. Das leicht siedende Lösungsmittel verdampft und schäumt das Polyurethan auf. Es ist kein Überschuss an Diisocyanat nötig, da keine chemische Reaktion zur Schaumbildung stattfindet, sondern die Schaumbildung physikalisch durch Verdampfen erfolgt.</p>	2	3	2
4.4	<p>Elastollane mit Polyesterketten weisen eine gute Wärmeformbeständigkeit auf, da dort aufgrund der starken Polarisierung der Carbonyl- bzw. Estergruppe Dipol-Dipol-Wechselwirkungen zusätzlich zu den Van-der-Waals-Wechselwirkungen auftreten und für einen stärkeren Zusammenhalt im Vergleich zu den Polyetherketten verantwortlich sind. Bei den Polyetherketten treten fast nur die schwächeren Van-der-Waals-Wechselwirkungen auf, was auch bei Kälte zu einer hohen Flexibilität</p>		5	4

<p>führt. Während die Estergruppen leichter durch Wasser hydrolysiert werden können, sind die Ethergruppen beständiger. Dafür werden die Polyesterketten aufgrund der polaren Estergruppen kaum von Mineralölen angegriffen, während das unpolare Mineralöl leicht in die Elastollane mit den ebenfalls relativ unpolaren Polyetherketten eindringen kann, was möglicherweise zum Quellen führt.</p> <p><i>Andere alternative Erklärungen mit schlüssiger Argumentation auf der Ebene der molekularen Wechselwirkungen sind auch möglich.</i></p>			
	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>6</b>

### Quellen:

#### Bilder:

Von Bayer AG -

[http://press.bayer.com/baynews/baynews.nsf/id/Historical\\_Photos\\_e?opendocument](http://press.bayer.com/baynews/baynews.nsf/id/Historical_Photos_e?opendocument),  
Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=36494232>

(letzter Zugriff: Januar 2018)

Von Moebius1 - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8249615> (letzter Zugriff: Januar 2018)

<http://www.citroen.co.nz/showroom/the-citroen-c4-cactus/> (letzter Zugriff: Januar 2018)

#### Informationen:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Otto\\_Bayer](https://de.wikipedia.org/wiki/Otto_Bayer) (letzter Zugriff: Januar 2018)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Polyurethane> (letzter Zugriff: Januar 2018)

Müller, M.: *Kunststoffe aus Makromolekülen*, Bayer, 1995, S. 69 ff. Im Internet aufrufbar

unter: <http://docplayer.org/29365855-Kunststoffe-aus-makromolekuelen.html> (letzter Zugriff: Januar 2018)

[http://www.polyurethanes.basf.de/pu/solutions/en/function/conversions:/publish/content/group/News\\_und\\_Medien/Spezialelastomere/Thermoplastische-Polyurethan-Elastomere\\_DE.pdf](http://www.polyurethanes.basf.de/pu/solutions/en/function/conversions:/publish/content/group/News_und_Medien/Spezialelastomere/Thermoplastische-Polyurethan-Elastomere_DE.pdf)  
(letzter Zugriff: Januar 2018)

[http://www.polyurethanes.basf.de/pu/solutions/en\\_GB/function/conversions:/publish/content/group/Arbeitsgebiete\\_und\\_Produnkte/Thermoplastische\\_Spezialelastomere/Infomaterial/elastollan\\_verarbeitung\\_de.pdf](http://www.polyurethanes.basf.de/pu/solutions/en_GB/function/conversions:/publish/content/group/Arbeitsgebiete_und_Produnkte/Thermoplastische_Spezialelastomere/Infomaterial/elastollan_verarbeitung_de.pdf)

(letzter Zugriff: Januar 2018)