

Chemisches Praktikum: Energietechnik

Komplex:

Organisch-chemische Reaktionen und Identifikation von Kunststoffen

Teil 1: Organisch - chemische Reaktionen

1 Aufgabenstellung

Im Teilkomplex „Organisch-chemische Reaktionen“ soll der Student im praktischen Versuch sowohl einige Haupttypen organisch-chemischer Reaktionen als auch ausgewählte grundlegende Eigenschaften und Reaktionen organischer Stoffklassen kennenlernen.

Die folgenden Experimente sind nach der vorliegenden Versuchsanleitung durchzuführen und im Arbeitsblatt auszuwerten. Dabei sind die **Beobachtungen genau zu beschreiben und die ablaufenden chemischen Vorgänge auch teilweise an Hand der Reaktionsgleichung zu erklären.**

- 1.1 Nachweis von C und H in organischen Verbindungen
- 1.2 Verhalten von Alkanen in Wasser und wässrigen Tensidlösungen
- 1.3 Nachweis von Mehrfachbindungen durch Addition von Brom
- 1.4 Oxidation von Alkohol bzw. Aldehyd
- 1.5 Aldehyde und ihre reduzierende Wirkung
- 1.6 Nachweis von Wasser in Ethanol
- 1.7 Vergleich von konzentrierter mit verdünnter Essigsäure
- 1.8 Bildung eines Esters (Veresterung)
- 1.9 Organische Halogenverbindungen (auch FCKW) als Kältemittel
- 1.10 Synthese einer makromolekularen Verbindung

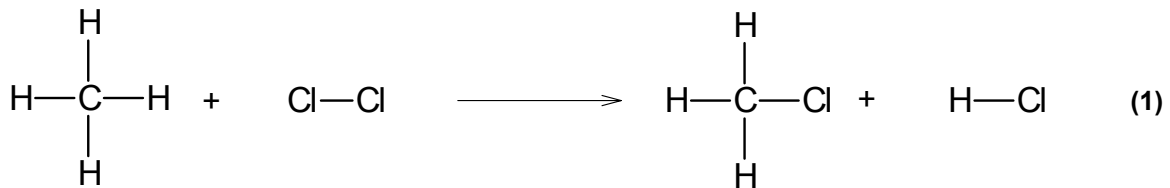
2 Theoretische Grundlagen

Die zahlreichen bekannten Reaktionen von organischen Kohlenstoffverbindungen lassen sich auf wenige Grundreaktionen zurückführen. Wählt man als ordnendes Prinzip die Art des Gesamtumsatzes, ohne den Reaktionsmechanismus zu berücksichtigen, so ergeben sich folgende Reaktionsarten:

Substitutionsreaktionen:

Substitutionsreaktionen sind Umsetzungen, in deren Verlauf ein Atom oder eine Atomgruppe eines organischen Moleküls durch ein anderes Atom oder eine andere Atomgruppe ersetzt werden.

Beispiel: Chlorierung von Methan zu Monochlormethan



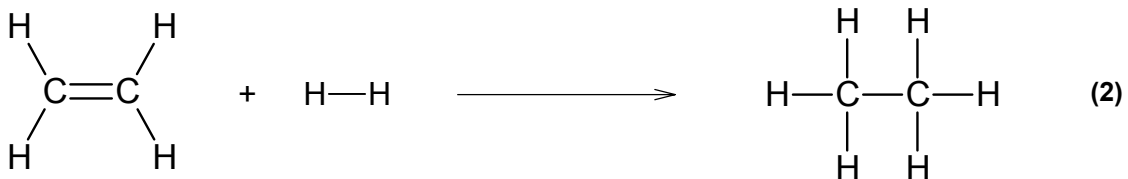
Additionsreaktionen:

Unter Additionsreaktionen versteht man Umsetzungen, in deren Verlauf Stoffe an organische Verbindungen, deren Moleküle Doppel- oder Dreifachbindungen enthalten, addiert werden. Dabei werden die Doppelbindungen in Einfachbindungen oder die Dreifachbindungen in Doppel- oder Einfachbindungen überführt.

Besondere Bedeutung kommt der Addition an C = C – Doppelbindungen zu. Dabei gehen die sp²-hybridisierten C-Atome in sp³-hybridisierte Kohlenstoffatome über. Aus den ungesättigten entstehen gesättigte Moleküle.

Wichtige Additionsreaktionen sind die katalytische Anlagerung von Wasserstoff (Hydrierung), die Addition von Wasser (Hydratisierung) und die Anlagerung von Halogenen (Halogenierung).

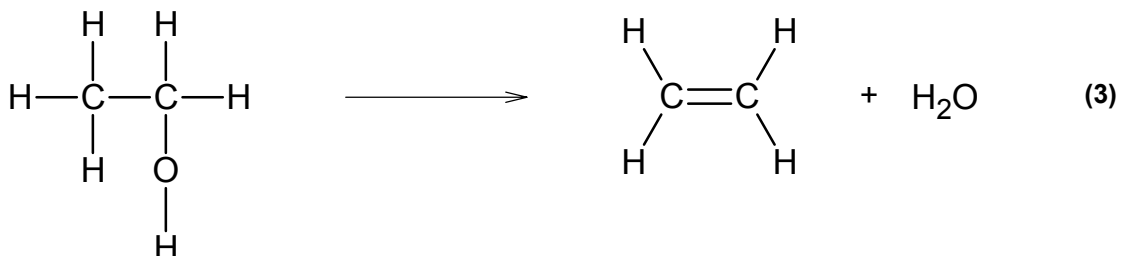
Beispiel: Hydrierung von Ethen zu Ethan



Eliminierungsreaktionen:

Eliminierungsreaktionen sind intramolekular (innerhalb eines Moleküls) verlaufende Abspaltungen von Atomen oder Atomgruppen, die zumeist zu ungesättigten Verbindungen führen. Die Eliminierung kann als Umkehrung der Addition aufgefasst werden.

Beispiel: Dehydratisierung von Ethanol zu Ethen



Gezielte theoretische Hinweise zum jeweiligen Reaktionsverlauf werden im Rahmen der Versuchsdurchführung (s. 3.1 bis 3.10) gegeben.

Das Arbeitsblatt Teil 1 (Seite 13 und 14) sollten Sie vor Beginn des Praktikums so weit wie möglich ausgefüllt haben!

3 Hinweise zur Versuchsdurchführung

3.1 Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff (Elementaranalyse) in organischen Stoffen

Ein Reagenzglas wird mit einer Spatelspitze Zucker (= Saccharose; eine organische C-H-O-Verbindung) beschickt, mit Kupfer(I)-oxid als Oxidationsmittel überschichtet und mittels durchbohrtem Stopfen mit Ableitrohr verschlossen. Das Ableitrohr taucht in ein zweites Reagenzglas, das mit Barytwasser halb gefüllt ist. Das Glas mit dem Zucker wird nun erhitzt, bis sich sichtbar metallisches Kupfer bildet. Woran erkennen Sie, dass die Verbrennungsprodukte CO₂ und H₂O entstanden sind? (Reaktionsgleichung für den CO₂ – Nachweis formulieren!)

3.2 Verhalten von Alkanen in Wasser und wässrigen Tensidlösungen

In ein Reagenzglas gibt man ca. 2 ml Wasser und dann 5 Tropfen i-Octan. Die sich ausbildende Phasengrenze wird mit einem Stift markiert. Das Reagenzglas wird mit einem Stopfen verschlossen und kräftig geschüttelt. Wo befindet sich nach der Phasentrennung das Alkan?

Nun gibt man in das heterogene Gemisch ca. 1 ml Tensidlösung und beobachtet das Verhalten der Mischung nach dem Schütteln.

3.3 Nachweis von Mehrfachbindungen mit Brom

In einem Reagenzglas werden jeweils ca. 2 ml i-Octan (2,2,4 – Trimethylpentan), 1-Octen, Toluol und Speiseöl mit etwa 5 Tropfen Bromwasser geschüttelt. Vorhandene Mehrfachbindungen werden durch Entfärbung des Bromwassers angezeigt. Geben Sie die Strukturformeln (außer von Speiseöl) für die hier eingesetzten und eventuell entstehenden Stoffe an!

3.4 Oxidation von Methanol und Methanal

a) Eine Kupferspirale wird in der Brennerflamme zur Rotglut erhitzt und anschließend in ein Reagenzglas getaucht, das etwa 2 ml Methanol enthält. Dabei wird ein Teil des Methanols durch das oberflächlich oxidierte Kupfer zu Methanal (Formaldehyd) oxidiert:



Überprüfen Sie den typischen Geruch des entstehenden dampfförmigen Formaldehyds (Vorsicht)!

Achtung: Das Reaktionsprodukt ist für den Versuch 3.5 aufzubewahren!

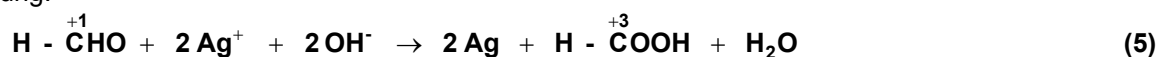
b) Analog zu Versuch 3.4 a) wird eine glühende Kupferspirale mehrmals in ein Reagenzglas getaucht, das etwa 2 ml Formalin (konzentrierte wässrige Formaldehydlösung) enthält und an dessen Reagenzglasinnenwand ein kleiner Streifen feuchtes blaues Lackmuspapier klebt. Wieso färbt sich das Lackmuspapier rot?

3.5 Aldehyde und ihre reduzierende Wirkung

Für die folgende Nachweisreaktion werden jeweils das Reaktionsprodukt aus Versuch 3.4 a), Formaldehydlösung, Traubenzuckerlösung (Glucose) und zusätzlich Aceton (Keton!) als Untersuchungslösung eingesetzt.

In vier sorgfältig gereinigte Reagenzgläser gibt man ca. 2 ml ammoniakalische Silbernitratlösung (Tollens Reagens). Nach Zusatz einiger Tropfen der vier Untersuchungslösungen werden diese im Wasserbad etwa 3 min bei ca. 50 °C erwärmt.

Eine Silberabscheidung evtl. als Silberspiegel bildet sich z. B. mit Formaldehyd nach folgender Gleichung:



Welche Redoxpaare korrespondieren miteinander? Kennzeichnen Sie Reduktions- und Oxidationsmittel!

3.6 Nachweis von Wasser in Ethanol

Wasserfreies Ethanol wird mit etwas wasserfreiem (weißem) Kupfersulfat versetzt. Welche Farbe beobachten Sie vor und nach der Zugabe von Wasser? Formulieren Sie die entsprechende Reaktionsgleichung!

3.7 Vergleich von konzentrierter mit verdünnter Essigsäure

In zwei Reagenzgläser füllt man je ca. 2 ml konzentrierte Essigsäure (Eisessig). Im ersten Reagenzglas bestimmt man den pH-Wert mittels Unitestpapier; ins zweite Reagenzglas wirft man ein Stück Magnesium. Notieren Sie Ihre Beobachtungen! Welche Veränderungen erkennen Sie nun nach der Zugabe von je ca. 2 ml Wasser in den beiden Reagenzgläsern? Formulieren Sie die Reaktionsgleichung!

3.8 Esterbildung

2 Spatelspitzen Benzoesäure werden im Reagenzglas mit etwa 5 ml Ethanol versetzt. Dazu gibt man vorsichtig etwa 5 Tropfen konzentrierte Schwefelsäure (Vorsicht, Spritzgefahr!), schüttelt und erwärmt vorsichtig. Der entstehende Ester ist an seinem charakteristischen Geruch zu erkennen. Definieren Sie den Geruch. Was bewirkt die zugegebene Schwefelsäure? Welchen Namen trägt das Reaktionsprodukt? Vorher ist die Reaktionsgleichung zu formulieren!

3.9 Organische Halogenverbindungen als Kältemittel

Die Kugel eines Flüssigkeitsthermometers wird mit Zellstoff umwickelt, der vorher mit Chloroform getränkt wurde. Was beobachten Sie? Wie lautet die Strukturformel für Chloroform? Geben Sie die Namen und Formeln der anderen möglichen Chlorderivate des Methans an!

3.10 Synthese einer makromolekularen Verbindung

1 g Harnstoff (ca. 1 cm Füllhöhe im Reagenzglas) wird mit 2 ml Formaldehydlösung (ca. 3 Füllungen der Tropfpipette) unter Schütteln gemischt. Dazu gibt man einen Tropfen konzentrierte Schwefelsäure. Nach kurzer Zeit entsteht ein fester, weißer Kunststoff. Nach welcher Reaktionsart wird dieser Kunststoff gebildet? Ermitteln Sie die Wärmetönung dieser Reaktion! Welches Vorzeichen hat die Reaktionsenthalpie?

4 Kontrollfragen

- 4.1 Was versteht man unter dem Cracken von Paraffinen? Was für Produkte entstehen?
- 4.2 Wodurch unterscheidet sich die chemische Bindung gesättigter und ungesättigter Kohlenwasserstoffverbindungen? Nennen Sie je zwei Beispiele!
- 4.3 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Hydrierung von Ethen und diskutieren Sie den Einfluss einer Druckerhöhung auf die Lage des chemischen Gleichgewichts!
- 4.4 Nennen Sie die wichtigsten Eigenschaften des Acetylens! In welcher Form befindet sich das Ethin in den Stahlflaschen der Schweißtechnik?
- 4.5 1 kg technisches Carbid soll unter Normbedingungen bei der Umsetzung mit Wasser 310 l Ethin ergeben. Wie groß ist dessen Gehalt an reinem Calciumcarbid (Angabe in Ma.-%)?
- 4.6 Beim Verbrennen von n-Octan entsteht ein Gas, das in Kalkwasser eingeleitet, einen schwerlöslichen Niederschlag bildet. Formulieren Sie die beiden Reaktionsgleichungen!
- 4.7 Was sind Freone chemisch und wofür werden oder wurden Sie verwendet? Warum wurde ihre Anwendung drastisch eingeschränkt?
- 4.8 Begründen Sie aus den physikalischen Eigenschaften, warum Benzolbrände nicht mit Wasser gelöscht werden können!

Teil 2: Identifikation von Kunststoffen

1 Aufgabenstellung

Kunststoffe (Plaste) sind vollsynthetisch bzw. durch Umwandlung hochmolekularer Naturprodukte hergestellte makromolekulare anorganisch- oder organisch-chemische Werkstoffe. Auf Grund der Größe ihrer Moleküle und der dadurch gegebenen Variationsbreite hinsichtlich des Aufbaus und der Zusammensetzung ist es für den Chemiker und Werkstoffkundler häufig schwierig, in manchen Fällen sogar unmöglich, eine genaue chemische Analyse des Kunststoffs durchzuführen. Man begnügt sich deshalb in der Regel mit der Angabe spezifisch chemischer und werkstofftechnischer Kenngrößen, die eine bestimmte Kunststoffklasse für praktische Belange hinreichend charakterisieren. Das Problem der Identifizierung von Kunststoffen gewinnt zunehmend auch für Recycling-Prozesse an Bedeutung.

Bei der Identifizierung eines Kunststoffs versucht man zunächst, einige chemische Grunderkenntnisse hinsichtlich der im Material enthaltenen Elemente zu gewinnen. Es folgen dann physikalisch-chemische Untersuchungen, wie z. B. die Überprüfung der thermischen Stabilität, die Untersuchung der Pyrolyseprodukte und das Verhalten gegenüber Lösungsmitteln. Erschwerend für diese einfachen physikochemischen Untersuchungen erweist sich häufig die Tatsache, dass heute zahlreiche Kunststoffe Mischungen unterschiedlicher Grundbausteine und Zusatzstoffe (Weichmacher, Stabilisatoren, Farbstoffe) darstellen. Das erschwert natürlich die einfache Identifizierung und sollte bei der Beurteilung des Ergebnisses beachtet werden.

1.1 Reaktionen zur qualitativen organischen Elementaranalyse (N, S, Cl)

1.2 Prüfung physikalisch-chemischer Eigenschaften

1.2.1 Verhalten gegenüber Lösungsmitteln

1.2.2 Verhalten gegenüber der Flamme

1.2.3 Verhalten beim Erhitzen (Pyrolysieren)

2 Theoretische Grundlagen

Als organische Makromoleküle enthalten Kunststoffe unterschiedlicher Zusammensetzung in jedem Falle als Grundbausteine Kohlenstoff und Wasserstoff. So tritt beim Erhitzen der organischen Substanz der Kohlenstoff vielfach elementar auf, indem die Substanz verkohlt oder unter Rußbildung verbrennt. Diese einfache Vorprobe versagt allerdings bei unzersetzter flüchtigen, hochschmelzenden oder kohlenstoffarmen Verbindungen, eine Einschränkung, die jedoch für die vorliegenden Kunststoffe kaum Bedeutung hat. Der Nachweis des Wasserstoffs in organischen Verbindungen erfolgt in der Regel durch Oxidation mit Kupfer(II)-oxid zu Wasser, welches im kälteren Teil eines Reagenzglases kondensiert:



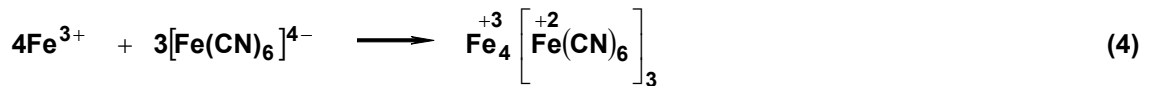
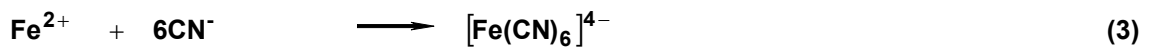
Im vorliegenden Praktikumskomplex sollen vor allem die eventuell vorhandenen Heteroatome Stickstoff, Schwefel und Chlor analytisch nachgewiesen werden. Dabei wird der Kunststoff durch Glühen mit elementarem Natrium reduktiv zerstört und die entstehenden Verbindungen durch die nachfolgend aufgeführten Reaktionen analysiert:

Stickstoff:

Natrium bildet mit Kohlenstoff und vorhandenem Stickstoff Natriumcyanid. Nach Umsetzung mit Eisen(II)-sulfat entsteht Natriumhexacyanoferrat(II), das mit Eisen(III)-ionen eine farbige Komplexverbindung, das "Berliner Blau" bildet (**Lassaigne-Probe 1843**).

- Verwendete Abkürzungen: z. B. N_{org} = organisch gebundener Stickstoff





Berliner Blau

Schwefel:

Beim Erhitzen schwefelhaltiger Substanzen mit Natrium entsteht Natriumsulfid. Versetzt man das wässrige Filtrat mit Bleiacetat und Essigsäure, so fällt schwarzes Bleisulfid aus.



Chlor:

Bei größeren Mengen Chlor in der organischen Substanz bildet sich mit Natrium NaCl, das mit Silbernitrat als schwerlösliches Silberchlorid nachgewiesen werden kann (entsprechendes gilt für die anderen Halogene):



Einen spezifischen Nachweis für Chlor in organischen Verbindungen stellt die sogenannte **Beilstein-Probe** dar:

Man erhitzt einen vorher ausgeglühten Kupferdraht mit einigen Körnchen der zu untersuchenden organischen Substanz in der nichtleuchtenden Brennerflamme. Bei Anwesenheit von Chlor zeigt die Flamme die charakteristische grüne bis blaugüne Farbe des verdampfenden Kupferchlorids.

Lösungsmittel können, falls keine zu starke Vernetzung zwischen den Monomeren des Makromoleküls vorliegt, in den Kunststoff diffundieren und diesen zum Quellen bringen. Dadurch werden seine Eigenschaften signifikant verändert. Im vorliegenden Versuchskomplex wird Essigsäureethylester zum Anlösen des Kunststoffs eingesetzt.

Zu einer ersten groben Klassifizierung der Kunststoffe kann auch die Dichte herangezogen werden. So sind z.B. Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polyisobutylen (PIB) leichter als Wasser, doch schwimmen auch andere Kunststoffe, wenn sie in geschäumter Form vorliegen.

Geruch und chemische Reaktionen der beim Erhitzen dieser Werkstoffe entstehenden Schwaden werden sehr wesentlich von den zu ihrer Herstellung verwendeten Ausgangsprodukten bestimmt. So wird z.B. ein durch Polymerisation von Aminen hergestellter Kunststoff einen alkalisch reagierenden Schwaden bilden, der nach Ammoniak bzw. Amin riecht.

Einzelheiten zur Unterteilung der Kunststoffe nach mechanisch-thermischen Eigenschaften bzw. nach ihren Entstehungsreaktionen bzw. chemischen Aufbau entnehmen Sie den Vorlesungen in Chemie und Werkstoffkunde sowie der Tabelle auf Seite 10 bzw. der empfohlenen Literatur!

3 Hinweise zur Versuchsdurchführung

3.1 Nachweis von Stickstoff, Schwefel und Chlor; Umsetzung mit Natrium

Reduktiver Natriumaufschluss (Wird vom Lehrpersonal durchgeführt!)

Man erhitzt ein kleines Stück des zu untersuchenden Kunststoffes in einem trockenen Glühröhrchen mit einem etwa erbsengroßen Stück elementarem Natrium unter dem Abzug (Schutzbrille!) zunächst mit kleiner Flamme (Öffnung nach hinten!), bis das Natrium schmilzt und die Reaktion einsetzt.

Anschließend wird mit der Brennerflamme bis zum Glühen weiter erhitzt und das noch glühende Röhrchen in ein Becherglas mit Wasser (ca. 10 ml) getaucht. Das Röhrchen zerspringt und die entstandenen Salze lösen sich in Wasser. Nach Filtration werden die gesuchten Elemente im Filtrat nachgewiesen.

Achtung: Nicht umgesetztes Natrium reagiert sehr heftig mit Wasser unter Wasserstoffbildung!

Prüfung auf Stickstoff:

Ein Teil des Filtrats wird in Eisen(II)-sulfatlösung zum Sieden erhitzt, abgekühlt, mit einem Tropfen Fe(III)-chloridlösung versetzt und mit verdünnter Salzsäure angesäuert. Bei Anwesenheit von Stickstoff entsteht eine schwach blaugrüne Lösung, aus der sich erst nach längerem Stehen der blaue Niederschlag des "Berliner Blau" abscheiden kann.

Prüfung auf Schwefel:

Ein Teil des Filtrats wird mit essigsaurer Bleiacetatlösung versetzt. Liegen schwefelhaltige Kunststoffe vor, so fällt schwarzes Bleisulfid aus. Bei Anwesenheit von wenig Schwefel färbt sich die Lösung nur dunkelbraun.

Prüfung auf Chlor:

Ein Teil des Filtrats wird mit verdünnter Salpetersäure angesäuert ($\text{pH} < 4$) und mit einigen Tropfen Silbernitratlösung versetzt. Bei Anwesenheit von Chlor fällt AgCl als weißer Niederschlag aus.

Beilstein-Probe:

Ein Stück Kupferdraht wird ausgeglüht und im glühenden Zustand mit dem zu untersuchenden Kunststoff in Berührung gebracht. Die anschließende Flammenprobe zeigt bei Anwesenheit von Chlor eine grüne bis blaugrüne Färbung.

3.2 Verhalten gegenüber Lösungsmitteln (gilt nicht für pulverförmige Proben)

Ein Stück Kunststoff wird - wenn möglich - mit 1-2 Tropfen Essigsäureethylester benetzt. Polystyrol (PS) und Polycarbonat (PC) werden vom Lösungsmittel angegriffen, wobei eine matte, klebende Oberfläche entsteht. Bei Polyvinylchlorid (PVC), Polymethylmethacrylat (PMMA) und Siliconen (SI) erfolgt ebenfalls ein Esterangriff, allerdings kann eine eindeutige Aussage bezüglich der Veränderung der Oberfläche nicht gemacht werden.

3.3 Verhalten gegenüber der Flamme

Eine Probe des Kunststoffes wird auf einer Magnesiumrinne in die Flamme des Brenners gehalten. Dabei ist auf Brennbarkeit in und außerhalb der Flamme, Rußentwicklung, auf den Geruch der entstehenden Gase und auf Abtropfen der Kunststoffprobe zu achten.

3.4 Trockenes Erhitzen

Ein Stück Kunststoff wird vorsichtig in einem trockenen Glühröhrchen erhitzt. Beobachten Sie den Schmelz- und Zersetzungsvorgang, die Farbe und den Geruch der entstehenden Schwaden und ihre

Reaktion gegenüber angefeuchtetem Unitestpapier. Entscheiden Sie, ob der untersuchte Kunststoff ein Thermo- oder Duroplast ist!

- **Thermoplaste** werden zunächst weich und schmelzen vor der Zersetzung.
- **Duroplaste** erweichen nicht; bei erhöhter Temperatur erfolgt sofortige Zersetzung.

Auswertung:

Beachte: Bei der Identifikation der im Praktikum untersuchten Kunststoffe sind manchmal Alternativangaben möglich, die Sie **bereits bei der Vorbereitung** dieses Praktikumskomplexes mit Hilfe der Tabelle auf S. 10 in der entsprechenden Spalte zusammenstellen müssen!

Zur Auswertung der Punkte 3.3 und 3.4 ist die durch Sie vervollständigte Tabelle im Anhang zu benutzen! (Bearbeiten Sie deshalb die folgenden Kontrollfragen 4.1 und 4.2 besonders genau!)

4 Kontrollfragen

- 4.1 Ergänzen Sie in Spalte 3 der beigefügten Tabelle (Seite 10), welche Kunststoffe Stickstoff, Chlor, Schwefel oder andere Elemente als Heteroatome enthalten!
Welche Funktion hat das Heteroatom bei der Gummierstellung? Wie wird der Produktionsschritt bezeichnet, bei dem das Heteroatom in den Ausgangsstoff eingeführt wird?
- 4.2 Ordnen Sie die Kunststoffe der Tabelle auf Seite 10 in der entsprechenden Spalte jeweils der Gruppe der Thermo- bzw. Duroplaste zu!
- 4.3 Wie ist aus chemischer Sicht Plexiglas zusammengesetzt (Strukturformel des Monomeren angeben!)? Wie lautet dafür das Kurzzeichen nach DIN 7728? Welche Bezeichnungen werden außerdem benutzt?
- 4.4 Um welchen Kunststoff handelt es sich:
Dichte $1,4 \text{ g/cm}^3$, in Spritzgussmaschinen zu bearbeiten, Dauergebrauchstemperatur nicht über $80 \text{ }^\circ\text{C}$, beständig gegenüber Ethanol und HCl, nicht beständig gegenüber Aceton, Benzol und Toluol. Zersetzt sich, ohne zu schmelzen; die Dampfschwaden zeigen eine saure Reaktion?
- 4.5 Was sind aus chemischer Sicht Silicone? In welcher Form finden sie praktische Anwendung in der Technik?
- 4.6 Wie groß ist der Polymerisationsgrad n der folgenden Kunststoffe? Ihre relative Molekülmasse soll folgende Werte besitzen:
PE: $M = 80\,000$ PS: $M = 160\,000$
PVC: $M = 100\,000$ PMMA: $M = 800\,000$

5 Arbeitsschutz im chemischen Praktikum

Für die in diesem Versuchskomplex durchzuführenden Laborarbeiten, insbesondere den **Umgang mit Gefahrstoffen**, gelten die folgenden, in der Arbeitsschutzunterweisung erläuterten, *Betriebsanweisungen (BA) nach §20 Gefahrstoffverordnung*:

1. Arbeitsplatzbezogene BA (Allgemeine Laborordnung des Praktikumlabor)
2. Stoffbezogene BA für die laut Praktikumsvorschrift verwendeten Stoffe und Zubereitungen

Die Betriebsanweisungen sind Bestandteil der Versuchsvorschrift und hängen im Labor aus!

Erste Hilfe bei Unfällen wird durch das Lehrpersonal organisiert.

Ersthelfer: Frau Dipl.-Chem. U. Greif

Literatur:

E. Lindner, Chemie für Ingenieure, M. Lindner Verlag, München

R. Pfestorf, H. Kadner, Chemie - Ein Lehrbuch für Fachhochschulen, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main

Version: 03/2004

Auswahl verfügbarer Kunststoffe	Kurzzzeichen nach DIN 7728	Art des Heteroatoms	Verhalten beim Anzünden mit kleiner Flamme			Verhalten beim trockenem Erhitzen (Pyrolysieren)											kommt als Thermoplast (T) oder Duroplast (D) vor	mögliche Alternativangaben			
			brennt	brennt in der Flamme, erlischt außerhalb	kaum entzündbar	Zersetzungsprodukte			Reaktion der Schwaden				Geruch der Schwaden								
						leichtflüchtig	flüchtig, daneben ölig	verkohlt	alkalisch	schwach sauer	stark sauer	neutral	nach Wachskerzen	fruchtesterartig	phenolartig	beißend scharf			nach verbranntem Papier	Ammoniak oder Amine	widerlich, ekelhaft
Gummi, Kautschuk	BR		x					x	(x)	(x)		x							x		
Celluloseacetat	CA		x					x		x						x					
Epoxidharz	EP		x					(x)	6	7					x			6			
Melamin-Formaldehyd-Harz	MF			4	5			x	x									x			
Polyamid	PA		(x)	x				x	x												
Polyacrylnitril	PAN		x					x	x						x						
Polyethylen	PE		x				x					x	x								
Polyester, Polyethylenterephthalat	PET		x					(x)		x				x							
Phenol-Formaldehyd-Harz	PF			4	5			x		x			x		x						
Polymethacrylsäureester	PMMA		x				1			x				x							
Polypropylen	PP		x					x					x								
Polystyrol	PS		10				x														
Polysulfon	PSU		x	x				x		x					x						
Polytetrafluorethylen, Teflon	PTFE				x			2		x					2						
Polyurethane	PUR		x					(x)	(x)	x									x		
Polyvinylchlorid	PVC		3	x				x		x					x						
Polyvinylidenchlorid	PVDC				x			x		x					x						
Silicone	SI			9				8				x	(x)								
Harnstoff-Formaldehyd-Harz	UF			4	5			x	x									x			

- 1) starkes Knistern beim Erhitzen
2) zersetzt sich kaum
3) mit hohem Weichmacher-Anteil

- 4) mit organischen Füllstoffen
5) mit unbrennbaren Füllstoffen
6) mit Amin gehärtet

- 7) mit Säure gehärtet
8) weißer Rückstand von SiO₂
9) weißer Rauch

- 10) brennt mit stark rußender Flamme