

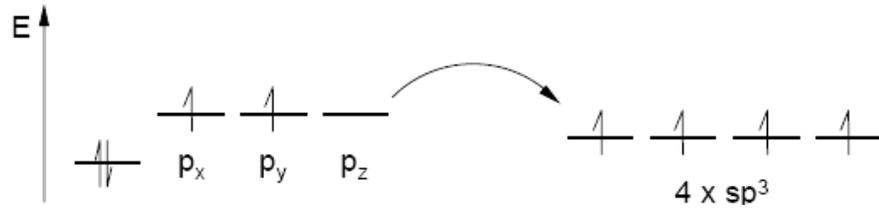
Lösungen zu Aufgabe 4.1

a) Welche Hybridisierung haben C- Atome in Einfach-, Doppel- und Dreifach- Bindungen und welche räumliche Anordnung der von einem zentralen C- Atom ausgehenden Bindungen ergibt sich daraus?

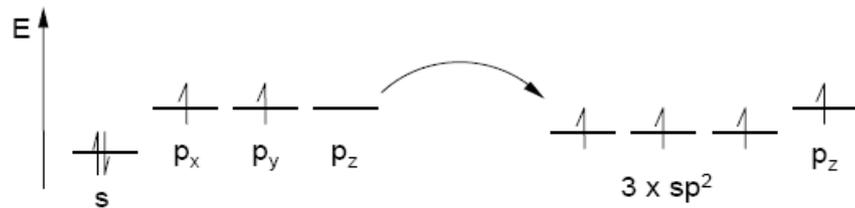
$sp^3$ : **Tetraeder**,  $sp^2$ : **Planar**, Winkel  $120^\circ$ ,  $sp$ : **Linear**

Hybridisierung:

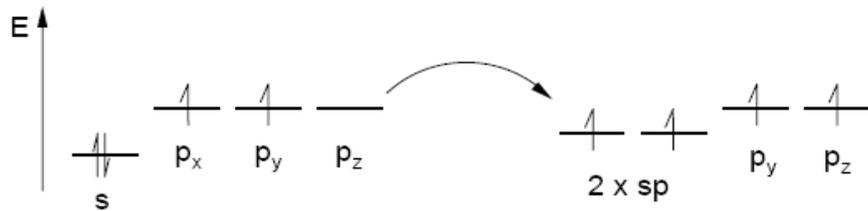
1)  $sp^3$



2)  $sp^2$

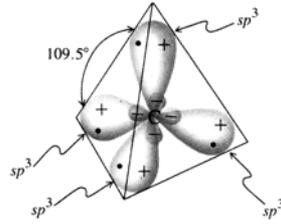


3)  $sp$



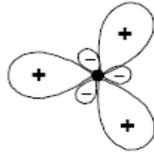
Aus der Hybridisierung ergeben sich folgende räumliche Anordnungen:

$sp^3$ :



tetraedrisch  $109,5^\circ$ -Winkel, 4  $sp^3$ -Orbitale

$sp^2$ :



trigonal planar,  $120^\circ$ -Winkel, 3  $sp^2$ -Orbitale in xy-Ebene (z-Achse:  $p_z$ -Atomorbital)

$sp$ :

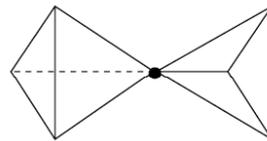
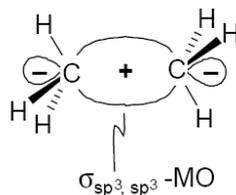
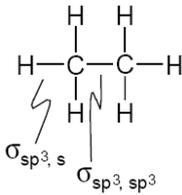


linear,  $180^\circ$ -Winkel, 2  $sp$ -Orbitale entlang der x-Achse (y,z-Achse,  $p_y$ ,  $p_z$ -Atomorbitale)

Ethan:

C-C-Einfachbindung

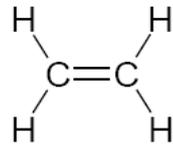
2 eckenverknüpfte Tetraeder



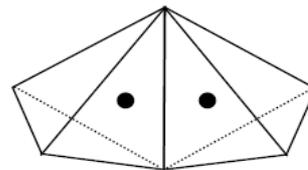
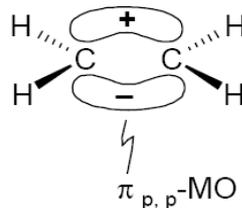
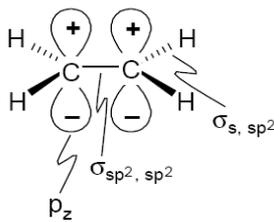
Abstand(C-C-Bindung):

154 pm, 1  $\sigma(sp^3-sp^3)$ -Molekülorbital

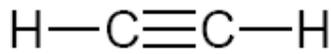
Ethen:



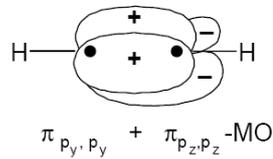
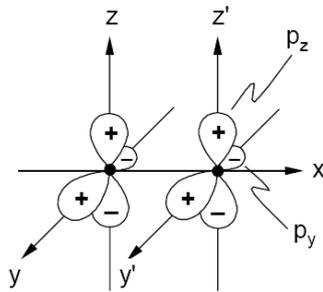
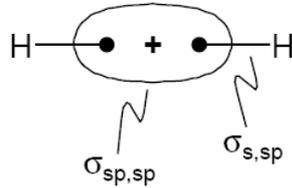
Abstand(C=C-Bindung): 134 pm,  
1  $\sigma(sp^2-sp^2)$ -Molekülorbital und  
1  $\pi(p_z-p_z)$ -Molekülorbital



Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)

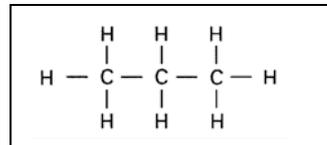


Abstand(C≡C-Bindung): 120 pm,  
1  $\sigma(\text{sp-sp})$ -Molekülorbital und  
2  $\pi(\text{p-p})$ -Molekülorbitale

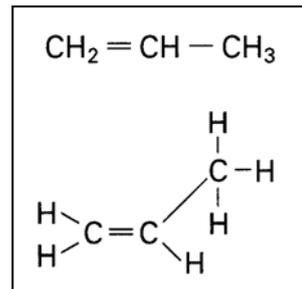


b) Geben Sie die Hybridisierung aller C- Atome in den Verbindungen Propan, Propen und Propin an!

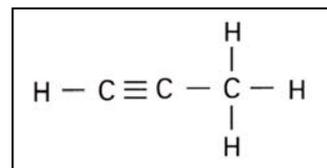
Propan: alle C-Atome sind  $\text{sp}^3$ -hybridisiert



Propen: das  $\text{C}_1$ - und  $\text{C}_2$ - Atom sind  $\text{sp}^2$ -hybridisiert, das  $\text{C}_3$ -Atom ist  $\text{sp}^3$ -hybridisiert



Propin: das  $\text{C}_1$ - und  $\text{C}_2$ - Atom sind  $\text{sp}$ -hybridisiert, das  $\text{C}_3$ -Atom ist  $\text{sp}^3$ -hybridisiert

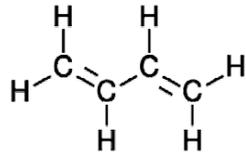


# Grundlagen der Chemie für Studierende des Maschinenbaus, Prof. Deutschmann

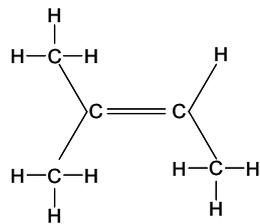
## Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)

c) Geben Sie die Konstitutionsformeln der Verbindungen 1,3-Butadien, 2-Methyl-2-Buten und 5-Methyl-Cyclohexa-1,3-dien an!

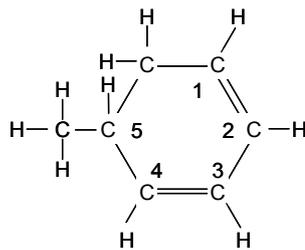
1,3-Butadien



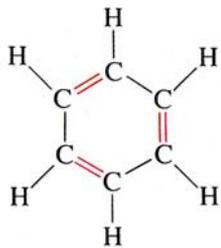
2-Methyl-2-Buten



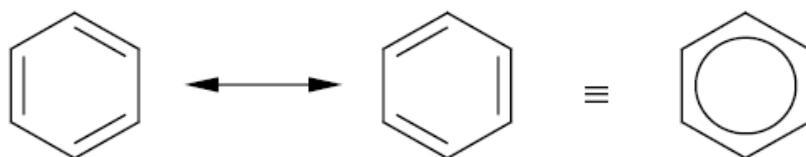
5-Methyl-Cyclohexa-1,3-dien



d) Geben Sie die Konstitutionsformel für Benzol an! Warum ist diese Formel nur eine Grenzstruktur?

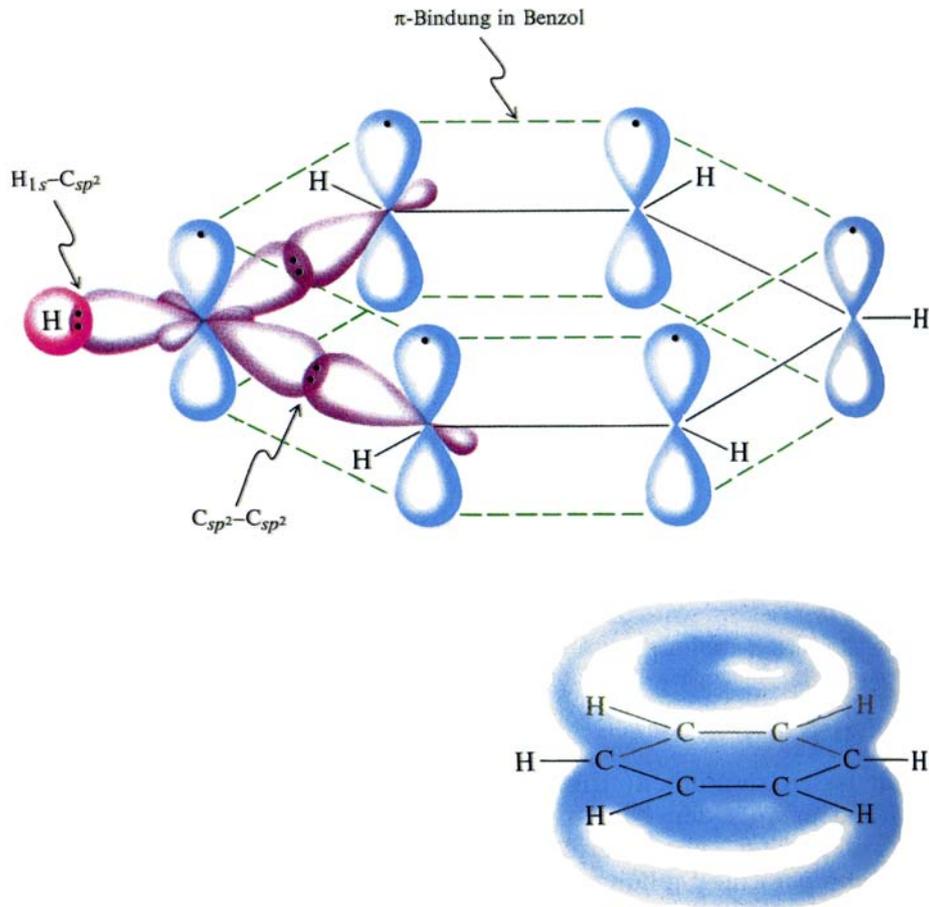


Auf Grund der **Mesomerie (Resonanz)** ist dies nur eine Grenzstruktur:





Benzol:

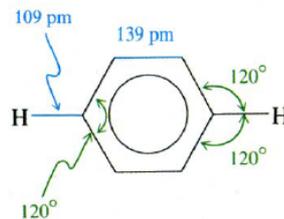


e) Welche chemischen Eigenschaften und welche Strukturmerkmale sind charakteristisch für Aromaten?

Chemische Eigenschaften und wichtige Strukturmerkmale von Aromaten:

- Planare, cyclische Moleküle
- Gleich lange Bindungen
- Konjugiertes  $\pi$ -Elektronensystem (Hückelregel)

Bsp.: Benzol

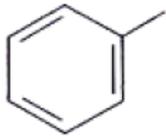
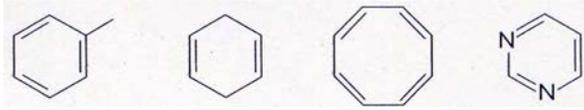


- Elektrophile Substitution am aromatischen Kern

# Grundlagen der Chemie für Studierende des Maschinenbaus, Prof. Deutschmann

## Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)

f) Welche der folgenden Moleküle sind aromatisch? Begründen Sie Ihre Antwort!

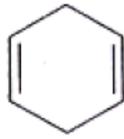


Toluol  
(Methylbenzol)

$$6\pi\text{-e}^-$$

$$\Rightarrow n=1$$

$\Rightarrow$  Aromat



1,4-Cyclohexadien

$$4\pi\text{-e}^-$$

$$n=1/2$$

kein Aromat

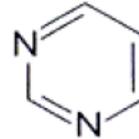


1,3,5,7-Cycloocta-  
tetraen

$$8\pi\text{-e}^-$$

$$n=3/2$$

kein Aromat



Pyrimidin  
(1,3-Diaza-  
benzol)

$$6\pi\text{-e}^-$$

$$n=1$$

Aromat

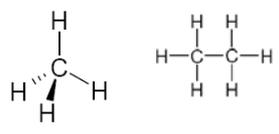
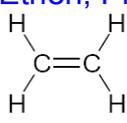
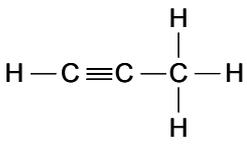
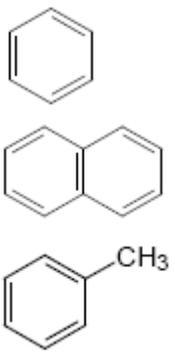
Hinweis: 1,4-Cyclohexadien nicht cyclisch konjugiert  $\Rightarrow$  kein Aromat

1,3,5,7-Cyclooctatetraen gehorcht nicht der Hückel- Regel  $\Rightarrow$  kein Aromat

# Grundlagen der Chemie für Studierende des Maschinenbaus, Prof. Deutschmann

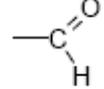
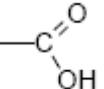
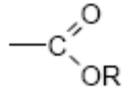
## Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)

g) Vervollständigen Sie Tabelle (Ersetzen Sie die Fragezeichen durch Ihre Antwort)!

Name der Verbindungsklasse	Typische Atomanordnung / funktionelle Gruppe	Allgemeine Formel	Typische Vertreter
Kohlenwasserstoffe			
<b>Alkane</b>	<b>C-C-Einfachbindung</b>	$C_nH_{2n+2}$	<b>Methan, Ethan</b> 
<b>Alkene</b>	<b>C=C-Doppelbindung</b>	$C_nH_{2n}$	<b>Ethen, Propen</b>  $CH_2 = CH - CH_3$
<b>Alkine</b>	<b>C≡C-Dreifachbindung</b>	$C_nH_{2n-2}$	<b>Ethin, Propin</b> $H - C \equiv C - H$ 
<b>Aromatische Kohlenwasserstoffe</b>	 Benzolring		<b>Benzol, Naphthalin, Toluol</b> 

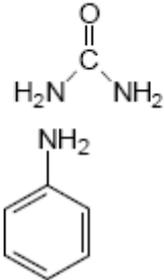
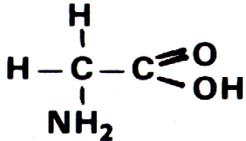
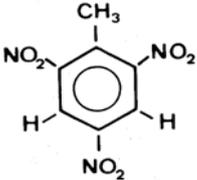
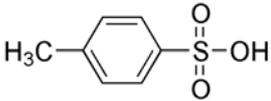
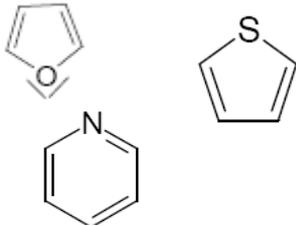
**Grundlagen der Chemie für Studierende des Maschinenbaus, Prof. Deutschmann**

Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)

Sauerstoffhaltige organische Verbindungen			
Alkohole	-OH Hydroxylgruppe	$C_nH_{2n+1}OH$	Methanol, Ethanol $\begin{array}{c} H \\   \\ H-C-OH \\   \\ H \end{array} \quad \begin{array}{c} H & H \\   &   \\ H-C & -C-OH \\   &   \\ H & H \end{array}$
Aldehyde	 Aldehydgruppe		Methanal, Ethanal $\begin{array}{c} H \\   \\ H-C=O \end{array} \quad \begin{array}{c} O \\    \\ H_3C-C \\   \\ H \end{array}$
Ketone	 Ketogruppe		Aceton $\begin{array}{c} O \\    \\ H_3C-C-CH_3 \end{array}$
Carbonsäuren	 Carboxylgruppe		Ethansäure, $\begin{array}{c} O \\    \\ H_3C-C \\   \\ OH \end{array} \quad \begin{array}{c} O \\    \\ \text{C}_6\text{H}_5-C \\   \\ OH \end{array}$ Benzoesäure
Ester	 Estergruppe		Butansäuremethylester $\begin{array}{c} O \\    \\ H_7C_3-C \\   \\ OCH_3 \end{array}$
Ether	-O- Sauerstoffbrücke		Diethylether $H_5C_2-O-C_2H_5$

# Grundlagen der Chemie für Studierende des Maschinenbaus, Prof. Deutschmann

## Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)

Stickstoffhaltige organische Verbindungen			
Amine	<b>-NH<sub>2</sub></b> <b>Aminogruppe</b>		Harnstoff, Anilin 
Aminocarbonsäuren	<b>-COOH, -NH<sub>2</sub></b>		Aminoethansäure 
Nitroverbindungen	<b>-NO<sub>2</sub></b> Nitrogruppe		Trinitrotoluol 
Nitrile	<b>-C≡N</b> Nitrilgruppe		Blausäure <b>H-C≡N</b>
Schwefelhaltige organische Verbindungen			
Thiole	<b>-SH</b> Thiolgruppe	R-SH	Methanthiol <b>H<sub>3</sub>C-SH</b>
Sulfonsäuren	<b>-SO<sub>3</sub>H</b> Sulfongruppe	R-SO <sub>3</sub> H	Toluolsulfonsäure 
Heterocyclische Verbindungen	Fünf- oder sechsgliedriger aromatischer Ring mit Fremdatomen		Furan, Thiophen, Pyrimidin 

## Grundlagen der Chemie für Studierende des Maschinenbaus, Prof. Deutschmann

Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)

h) Welches physikalische Messprinzip liegt den folgenden spektroskopischen Methoden zugrunde?

- IR (Infrarotspektroskopie)
- UV-VIS (Spektroskopie im ultravioletten und sichtbaren Bereich)
- NMR (Kernmagnetische Resonanz)
- MS (Massenspektroskopie)

Welche Informationen erhält man aus den Spektren?

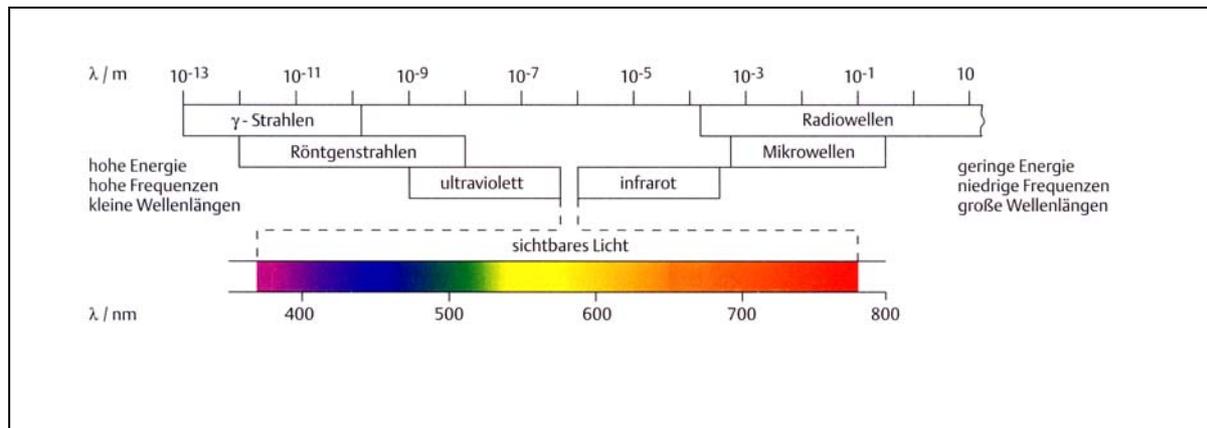
- IR (Infrarotspektroskopie):

**Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung (IR-Bereich) mit Dipolen von Atomgruppen im Molekül**

⇒ **Anregung von Schwingungen**

Informationen:

- **Charakterisierung von funktionellen Gruppen**
- **Bindungslänge, -stärke, -art**



- UV-Vis-Spektroskopie:

**Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung (ultravioletter und sichtbarer Bereich) mit Valenzelektronen.**

⇒ **Anregung von elektronischen Übergängen**

Informationen:

- **Bindungsverhältnisse**
- **elektronische Struktur**
- **p-Elektronensysteme**

- NMR (Kernspinresonanz-Spektroskopie):

**Wechselwirkung von Atomen (im Molekül), die ein kernmagnetisches Moment (Kernspin) enthalten, mit einem von außen angelegten Magnetfeld.**

# Grundlagen der Chemie für Studierende des Maschinenbaus, Prof. Deutschmann

## Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)

Informationen:

- **Aufbau des Moleküls**
- **Funktionelle Gruppe**
- **Nachbarschaft der betrachteten Atome**

- MS (Massenspektrometrie):

**Moleküle werden ionisiert und durch Ablenkung im elektrischen und magnetischen Feld zu einem Detektor abgelenkt.**

Eine modernere Entwicklung (Time of Flight- MS) nutzt die unterschiedliche Flugzeit (im elektrischen und magnetischen Feld der zuvor erzeugten Ionen).

Informationen:

- **Molekülmasse**
- **Masse der Fragmente**
- **Struktur des Moleküls**

### Lösungen zu Aufgabe 4.3

a) Welches sind die wesentlichen Schritte bei der Verarbeitung von Erdöl?

- **Fraktionierte Destillation** (trennt das Kohlenwasserstoffgemisch in Fraktionen mit unterschiedlichen Siedebereichen auf)
- **Katalytisches Cracken** (Durch das Aufbrechen von C-C- Bindungen werden schwere Moleküle mit hohem Siedepunkt in kleinere Moleküle mit niedrigerem Siedepunkt überführt)
- **Reformieren** (Erhöht den Anteil verzweigter Kohlenwasserstoffe)

b) Worin unterscheiden sich Benzin und Dieseltreibstoffe?

**Benzin:** Erdölfraction mit Siedepunkten zwischen 35 und 200 °C, hoher Anteil an verzweigten und aromatischen Kohlenwasserstoffen.

**Diesel:** Erdölfraction mit Siedepunkten zwischen 200 und 360 °C, hoher Anteil an unverzweigten Aliphaten.

c) Durch welche Kennzahl wird die Qualität von Benzin und durch welche die von Dieseltreibstoff charakterisiert?

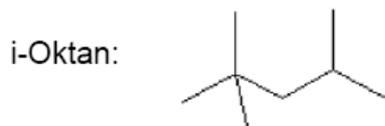
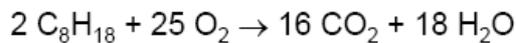
Welche wichtigen Eigenschaften der Treibstoffe werden durch die Kennzahlen beschrieben?

Benzin: **Oktanzahl** als Maß für die **Klopffestigkeit**

Diesel: **Cetanzahl** als Maß für die **Zündfähigkeit**

Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)

- d) Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die vollständige Oxidation von n- Oktan und von 2,2,4-Trimethylpentan!



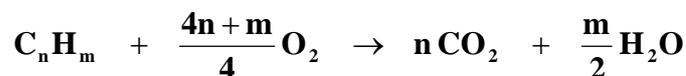
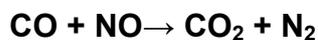
- e) Welche Schadstoffe treten bei der motorischen Verbrennung aliphatischer Kohlenwasserstoffe im Benzin- und welche bei der Verbrennung im Dieselmotor auf?

**Ottomotor: Kohlenmonoxid (CO)  
Kohlenwasserstoffe  
Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)**

**Dieselmotor: Russpartikel  
Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)**

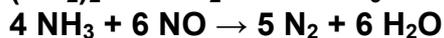
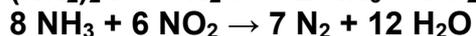
- f) Wie kann der Ausstoß von Schadstoffen in Fahrzeugen mit stöchiometrisch betriebenen Benzinmotoren verringert werden (Erläuterung mittels Reaktionsgleichungen)!

Verminderung durch **Dreiwegekatalysator**



- g) Wie kann der Ausstoß von Schadstoffen in Fahrzeugen mit Dieselmotoren verringert werden (Nennen und erläutern Sie ein Verfahren)!

**Harnstoff- SCR**



**Aufgabe 4.4**

a) Geben Sie die Konstitutionsformeln der charakteristischen Gruppen von Polyethylen, Polypropylen, Polystyrol und Poly-1,3-Butadien an!

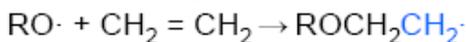
Polyethylen	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_x$	Polypropylen	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array} \right]_x$
Polystyrol	$\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C} = \text{C} - \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C} = \text{C} - \text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_x$	Polybutadien	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C} - \text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_x \end{array}$ <p>1,2- Stellung</p> $\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \quad \text{H} \\   \quad \quad \quad   \\ -\text{C} - \text{C} = \text{C} - \text{C}- \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_x$ <p>1,4- Stellung</p>

b) Die Polymerisationen von Ethen, Popen, Styrol und 1,3-Butadien verlaufen nach einem gemeinsamen Mechanismus.

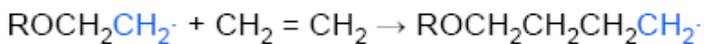
Erklären Sie das Prinzip anhand einer der genannten Substanzen!

**Radikalische Polymerisation (Radikalkettenmechanismus)**

Startreaktion:



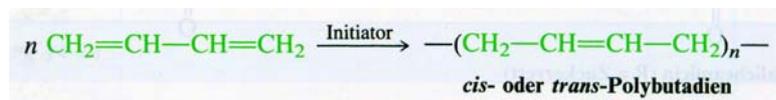
Kettenwachstum:



Kettenabbruch:



Im Fall von 1,3-Butadien bleiben Doppelbindungen erhalten:



**Aufgabe 4.4**

c) Nennen Sie den wichtigsten Unterschied zwischen den Eigenschaften von Polyethylen und Poly-1,3-Butadien!

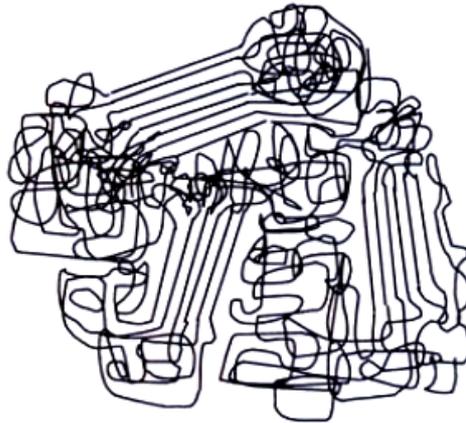
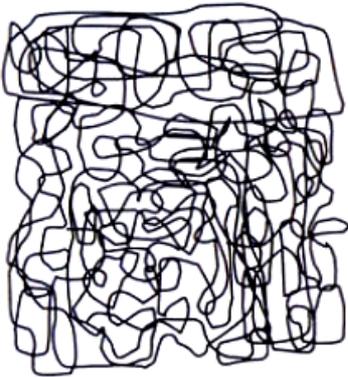
**Polyethylen ist teilkristallin**

**Polybutadien enthält noch Doppelbindungen ist teilweise vernetzt**

amorph

und

teilkristallin



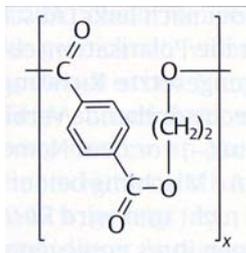
Der Grad der parallelen Anordnung von Kohlenwasserstoffketten hängt von Länge und Anzahl der Verzweigungen ab.

Vernetzt:

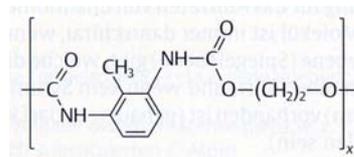


d) Geben Sie die Konstitutionsformeln der charakteristischen Gruppen in Polyamiden und Polyestern an!

Polyamid:



Polyester:

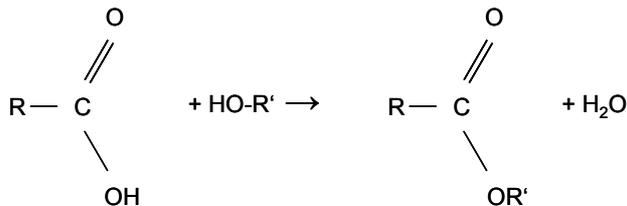


**Aufgabe 4.4**

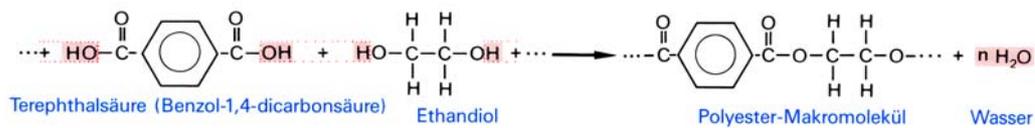
e) Polyester und Polyamide werden nach demselben Prinzip gebildet.

Wie nennt man den Reaktionsmechanismus? Erklären Sie den Mechanismus am Beispiel der Bildung von Polyestern!

**Polykondensation, i.e. die Zusammenlagerung von Monomeren unter Abspaltung leichter Moleküle, z. B. Wasser**



Veresterungsreaktion; Bildung von Polyester aus Dicarbonsäure und Diol:



f) Je nach Grad der Vernetzung unterscheidet man zwischen Thermoplasten, Elasten und Duroplasten.

Wie wirkt sich der Grad der Vernetzung auf das Verhalten der Polymere beim Erwärmen aus?

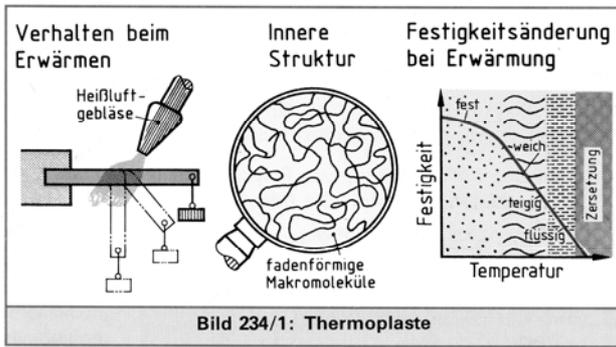
**Grad der Vernetzung => Schmelzbarkeit und Elastizität**

**Unvernetzte Polymere:** Schmelzbar und elastisch

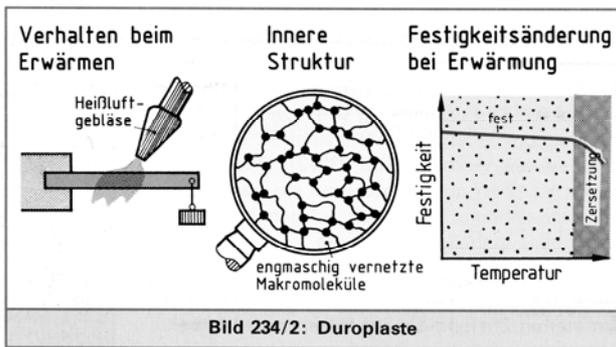
**Schwach vernetzte Polymere:** Nicht schmelzbar, elastisch, erweichen vor der Zersetzung

**Stark vernetzte Polymere:** Nicht schmelzbar, spröde bis zur Zersetzung.

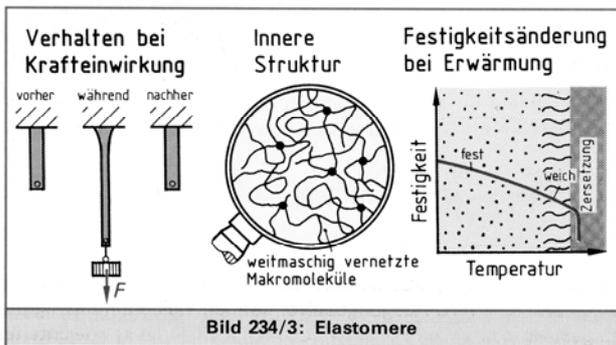
Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)  
Zusatzmaterial:



Unvernetzt, schmelzbar,  
elastisch



Stark vernetzt, spröde, nicht  
schmelzbar



Schwach vernetzt, elastisch,  
nicht schmelzbar

# Grundlagen der Chemie für Studierende des Maschinenbaus, Prof. Deutschmann

## Übungsaufgaben zu Abschnitt 4 (Organische Chemie)

### Literatur:

- 1) Christen, Hans Rudolf

Chemie / Hans Rudolf Christen ; Günter Baars. - 1. Aufl.  
Aarau ; Frankfurt am Main ; Salzburg : Sauerländer, 1997. - 808 S. : Ill., graph. Darst.;  
(dt.)  
ISBN 3-7941-3768-X, 3-425-05393-0  
Stark erw. Neuaufl. des zuerst 1962 ersch. Werkes

- 2) Hoinkis, Jan

Chemie für Ingenieure / Jan Hoinkis ; Eberhard Lindner. - 12. Aufl.  
Weinheim : Wiley-VCH, 2001. - XV, 681 S. : Ill.; (dt.)  
ISBN 3-527-30279-4  
Bis 11. Aufl. u.d.T.: Lindner, Eberhard : Chemie für Ingenieure  
Schlagwörter: Chemie / Lehrbuch

- 3) Vollhardt, K. Peter C.

Organische Chemie / K. Peter C. Vollhardt, Neil E. Schore. Übersetzung hrsg. von  
Holger Butenschön. Übersetzt von Barbara Elvers .... - 4. Aufl.  
Weinheim : VCH, 2005. - XXVIII, 1542 S. : Ill., graph. Darst.; (deutsch)  
(Vollhardt, K. Peter C.: Organische Chemie ; Hauptbd.)  
ISBN 978-3-527-31380-8

- 4) <http://www.chemievorlesung.uni-kiel.de/metalle/muenz.pdf>

- 5) [http://www.physik.uni-wuerzburg.de/EP6/Vorlesung\\_WS0607/VL\\_12.pdf](http://www.physik.uni-wuerzburg.de/EP6/Vorlesung_WS0607/VL_12.pdf)

- 3) Mortimer, Charles E.,

Chemie: Das Basiswissen der Chemie, 6. völlig neubearb. und erw. Auflage, Georg  
Thieme Verlag, Stuttgart, 1996. ISBN 3-13-102766-5, 3-13-484306-4

- 4) Gerhard Haering, Eckhard Ignatowitz,

Chemie für Schule und Beruf, 3. überarb. und erw. Auflage, Europa Lehrmittel Verlag,  
1994.

- 5) Peter W. Atkins,

Physikalische Chemie, 2. vollst. neubearb. Auflage, Wiley-VCH Verlag, 2001.

- 6) E. Riedel,

Anorganische Chemie, 6. Auflage, Gruyter Verlag, 2004.