

**Prüfung in Chemie  
für Studierende des Maschinenbaus, der Werkstoffwissenschaften  
und NWT Lehramt  
Studiengang Bachelor**

Montag, 10. April 2017, 8:00-11:00

Für die Bearbeitung der Aufgaben sind **keine Hilfsmittel zugelassen**; alle Berechnungen sind so ausgelegt, dass Sie einfach auszuwertende algebraische Ausdrücke erhalten, wenn Sie das frühzeitige Einsetzen von Zahlen vermeiden und Gleichungen herleiten, in denen auf der rechten Seite nur noch bekannte Größen vorkommen; Brüche lassen sich durch Kürzen so stark vereinfachen, dass elektronische Hilfsmittel nicht notwendig sind.

Ausländische Studenten dürfen ein Wörterbuch (Muttersprache zur deutschen Sprache) benutzen, das keine handschriftlichen Eintragungen enthalten darf.

Papier für die Lösungen wird zur Verfügung gestellt.

Jeder Versuch, Hilfsmittel zu benutzen, wird als Täuschung behandelt, führt zum unmittelbaren Ausschluss von der Klausur und zur Bewertung der Ausarbeitung mit 5.0!

Zahlenwerte, die ohne Rechnung bzw. ohne Begründung angegeben werden, bleiben ohne Wertung!

Es genügen klar verständliche Stichworte als Antwort; es müssen keine ausführlichen Texte geschrieben werden. Für bildliche Darstellungen genügen Skizzen, die das Prinzip verdeutlichen.

Die für jede Teilaufgabe maximal erreichbare Punktzahl ist in Klammern angegeben.

Bewertung (Punkte/Note):

0-49,5	50-54	55-59	60-64	65-70	71-75	76-80	81-85	86-90	91-95	96-100
5,0	4,0	3,7	3,3	3,0	2,7	2,3	2,0	1,7	1,3	1,0

Aufgabe 1:

a) Was ist die Aussage der Hypothese von Avogadro? (1 P)

**Bei gleichen Bedingungen enthalten gleiche Volumina idealer Gase gleich viele Teilchen**

b) Was versteht man unter der Ordnungszahl und was sind Isotope? (2 P)

**Ordnungszahl = Zahl der Protonen  
Isotope = Atome gleicher Ordnungszahl aber verschiedener Masse (verschiedener Anzahl der Neutronen)**

c) Geben Sie die Bedeutung der Zahlen im Nuklid  $^{15}_7\text{N}$  an! (1 P)

Summe aus Protonen und Neutronen (Massenzahl)  $\rightarrow 15$   
Anzahl der Protonen (Ordnungszahl)  $\rightarrow 7$

d) Durch welche Methode wird die Atommasse gemessen? (1)

**Massenspektrometrie**

Nennen Sie die drei wesentlichen Vorgänge, die dabei ablaufen! (3)

**Probenzuführung, Ionisation und Ionenbeschleunigung, Ablenkung im Magnetfeld, Detektion** (3 davon ausreichend), Gesamt: 4 P

- e) Nennen Sie die vier Quantenzahlen, durch die die Energieniveaus der Elektronen beschrieben werden! Geben Sie in Stichworten die Bedeutung der einzelnen Quantenzahlen an! (4 P)

**Hauptquantenzahl (Schale), Nebenquantenzahl (Unterniveaus, beschreiben verschiedene Typen von Orbitalen), Magnetquantenzahl (Verhalten im Magnetfeld), Spinquantenzahl (Feinstruktur der Spektrallinien)**

- f) Was sagt das Pauli-Prinzip und was sagt die Hund'sche Regel aus? (1 P)

**Pauli-Prinzip: Jedes Orbital kann maximal durch 2 Elektronen besetzt werden; diese haben antiparallelen Spin.**

**Hund'sche Regel: Energiegleiche Orbitale werden zunächst nacheinander mit Elektronen gleichen Spins einfach besetzt. Dann erst wird nacheinander in jedem Orbital ein zweites Elektron mit entgegengesetztem Spin aufgenommen**

- g) Geben Sie die Verteilung der Elektronen des Elements Brom auf die Orbitale an! (1 P)



- h) Was versteht man unter der Elektronegativität eines Elements und was unter der Polarität einer chemischen Bindung? (2 P)

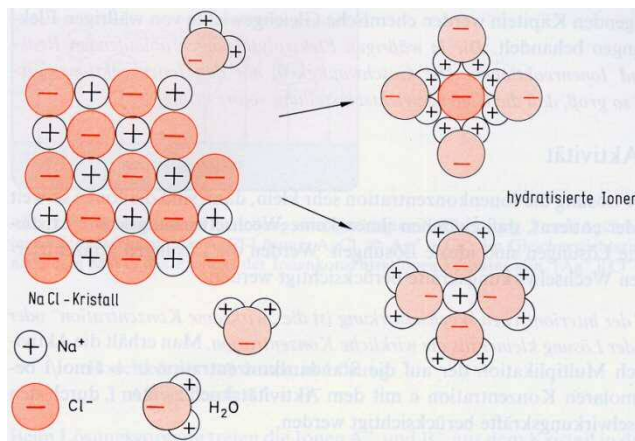
**Elektronegativität: Fähigkeit eines Atoms in einer Atombindung Elektronen anzuziehen.**

**Polarität: Asymmetrische Ladungsverteilung in einer Atombindung als Folge unterschiedlicher Elektronegativität;**

**ebenfalls anerkennen: Bindung enthält einen negativen und einen positiven Pol (Partialladung)**

- i) Durch welche Wechselwirkungen zwischen Ionen und Wasser wird beim Lösen von Salzen die Gitterenergie überwunden? (1 P)

**Wechselwirkung zwischen Dipolen des H<sub>2</sub>O und Ionen (H mit Anionen, O mit Kationen) setzt Hydratationsenthalpie frei**



Für die Lösung der Klausuraufgabe genügt es, wenn zu erkennen ist, dass die Kationen mit dem negativen, die Anionen mit dem positiven Ende des Dipols in Wechselwirkung treten; die **verbale** Beschreibung oben ist ebenfalls ausreichend.

- j) Nennen Sie zwei wichtige Eigenschaften von Metallen! (1 P)

Die wenigen Valenzelektronen bilden ein

- „freies Elektronengas“, das mit positiven Atomrümpfen wechselwirkt.
- elektrisch leitfähig
- hohe Koordinationszahl

(2 richtige Eigenschaften sind ausreichend)

- k) Wodurch entsteht ein osmotischer Druck? (1 P)

**Diffusion von Lösungsmittel durch eine semipermeable Membran zum Ausgleich von Konzentrationsgefällen**

**entstehender Druckunterschied: osmotischer Druck** (richtig erläuterte Skizze der Messapparatur wird natürlich auch anerkannt)

- l) Auf welcher physikalischen Grundlage beruhen thermische Trennverfahren, z. B. Extraktion und Chromatographie? (1 P)

**Verteilungsgleichgewicht: Verteilung einer Substanz in Lösung zweier nicht mischbarer Lösungsmittel**

Aufgabe 2:

- a) Geben Sie die Gleichungen an, nach denen man (mithilfe von Tabellen) Reaktionsenthalpie, Reaktionsentropie und freie Reaktionsenthalpie berechnet! (3 P)

**Reaktionsenthalpie:**  $\Delta_R H = \sum v_i \cdot \Delta_f H^0 \text{ (Produkte)} - \sum v_i \cdot \Delta_f H^0 \text{ (Edukte)}$

**Reaktionsentropie:**  $\Delta_R S = \sum v_i \cdot S^0 \text{ (Produkte)} - \sum v_i \cdot S^0 \text{ (Edukte)}$

**Freie Reaktionsenthalpie:**  $\Delta_R G = \Delta_R H - T \cdot \Delta_R S$

Formulieren Sie mit Hilfe der freien Enthalpie eine Bedingung für das Vorliegen eines Gleichgewichts!

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S = 0$$

Jede Gleichung 0.5 P, Gesamt: 2 P

In diesem Zusammenhang sollen Sie für die Dehydrierung von Ethan folgende Teilaufgaben lösen:

Geben Sie die Reaktionsgleichung für die Umsetzung von Ethan zu Ethen an!



Berechnen Sie unter Verwendung der in der Tabelle angegebenen Werte die Reaktionsenthalpie und begründen Sie, warum die Reaktion, zumindest bei höherer Temperatur freiwillig abläuft!

$$\Delta_R H = (38 - (-96)) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 134 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \quad (0.5 \text{ P})$$

Da  $\Delta_R S > 0$  ist, wird bei hinreichend hoher Temperatur  $\Delta_R G = \Delta_R H - T \cdot \Delta_R S < 0$  (1)

Berechnen Sie die Temperatur, bei der Ethan, Ethen und Wasserstoff miteinander im Gleichgewicht stehen!

Hinweis: Die Werte gelten bereits für die gesuchte Temperatur, Sie brauchen daher keine Temperaturabhängigkeit von Enthalpie und Entropie zu berücksichtigen. Gehen Sie von einem anfänglichen Reaktionsgemisch aus, das nur Ethan enthält!

	$\Delta_f H^0 \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$	$S^0 \left[ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$
$\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$	-96	341
$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	38	307
$\text{H}_2(\text{g})$	0	168

$$\text{Gleichgewichtsbedingung: } \Delta_R G = 0, \rightarrow T_{\text{Gl}} = \frac{\Delta_R H}{\Delta_R S} = \frac{\Delta_f H^0(\text{H}_2) + \Delta_f H^0(\text{C}_2\text{H}_4) - \Delta_f H^0(\text{C}_2\text{H}_6)}{S^0(\text{H}_2) + S^0(\text{C}_2\text{H}_4) - S^0(\text{C}_2\text{H}_6)} = \frac{1000 \cdot (134)}{134} \text{ K}$$

$$= 1000 \text{ K} \quad (1),$$

Geben Sie eine Beziehung zwischen der Gleichgewichtskonstanten und thermodynamischen Daten an! Welchen Wert nimmt die Gleichgewichtskonstante der Dehydrierung von Ethan bei der eben berechneten Temperatur  $T_{\text{Gl}}$  an?

$$\Delta_R G = -RT \ln K; \text{ im Gleichgewicht ist } \Delta_R G = 0, \rightarrow K(1000 \text{ K}) = 1 \text{ bar. (1) gesamt: 6 P}$$

- b) Bei Raumtemperatur ist das Löslichkeitsprodukt von  $\text{CaF}_2$   $4 \cdot 10^{-12}$  (Mol/l)<sup>3</sup>. Welche Konzentration von  $\text{Ca}^{2+}$  stellt sich in neutralem Wasser ein und welche Konzentration stellt sich ein, wenn die Konzentration von  $\text{F}^-$  0.1 Mol/l beträgt? (2 P)

Aus der Zusammensetzung von  $\text{CaF}_2$  folgt:  $c(\text{F}^-) = 2 \cdot c(\text{Ca}^{2+})$

Mit  $K_{\text{LP}} = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{F}^-]^2$  erhält man:

$$4 \cdot [\text{Ca}^{2+}]^3 = 4 \cdot 10^{-12} \left[ \frac{\text{Mol}}{\text{l}} \right]^3 \rightarrow [\text{Ca}^{2+}] = 10^{-4} \left[ \frac{\text{Mol}}{\text{l}} \right].$$

Mit  $[\text{F}^-] = 0.1$  Mol/l erhält man:

$$[\text{Ca}^{2+}] = 4.0 \cdot 10^{-10} \text{ Mol/l.}$$

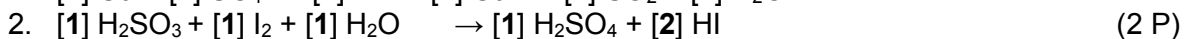
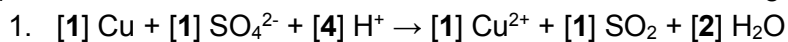
- c) Welche Oxidationszahlen haben die fett gedruckten Elemente in den Verbindungen

$\text{KMnO}_4$ , Mn: **+7**,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , Cr: **+6**,  $\text{HNO}_3$ , N: **+5**,  $\text{Na}_3\text{VO}_4$ , V: **+5**,  $\text{LiAlH}_4$ , H: **-1**

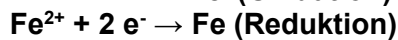
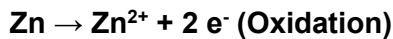
und  $\text{KClO}_4$  Cl: **+7**?

(3 P)

- d) Bestimmen Sie die stöchiometrischen Koeffizienten für folgende Redoxreaktionen:



- e) Wie groß ist die Spannung eines Fe/Zn-Elementes, wenn Sie 1 molare Lösungen von Eisen(II)- und Zinksulfat verwenden? Welche Teilreaktionen laufen ab? (3 P)



$$E = (-0,41 - (-0,76)) \text{ V} = 0,35 \text{ V}$$

- f) Wie verändert sich die Spannung des galvanischen Elements aus Aufgabe e, wenn Sie die Konzentration der Eisensulfat-Lösung herabsetzen? Wie lautet die Gleichung mit der man das berechnen kann? (Name oder Formel reichen). Hinweis: Es genügt, wenn Sie angeben, ob die Spannung größer oder kleiner wird. (2 P)

$$\text{Nernst'sche Gleichung } E = E_0 + \ln \left( \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]} \right)$$

Konzentration von  $\text{FeSO}_4$  ist in der Gleichung für  $\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}$  gleich  $[\text{Ox}]$ , wenn  $[\text{Ox}]$  fällt, fällt auch  $\ln \left( \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]} \right)$ ,  $E(\text{Fe}/\text{Fe}^{2+})$  wird kleiner  $\rightarrow$  **E wird kleiner**

- g) In ein Becherglas mit einer 1-molaren  $\text{FeSO}_4$  Lösung wird ein Blech aus Zinn, in ein anderes Becherglas mit einer 1-molaren  $\text{FeSO}_4$  Lösung wird ein Blech aus Mangan eingetaucht. Erwarten Sie das Ablaufen chemischer Reaktionen? Begründen Sie Ihre Antwort! (2 P)

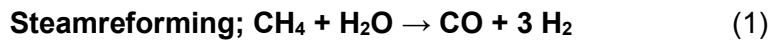
**Mn in  $\text{Fe}^{2+}$ : Reaktion**

**Sn in  $\text{Fe}^{2+}$ : keine Reaktion**

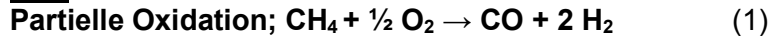
**Begründung:  $E(\text{Mn}/\text{Mn}^{2+}) < E(\text{Fe}/\text{Fe}^{2+})$  und  $E(\text{Sn}/\text{Sn}^{2+}) > E(\text{Fe}/\text{Fe}^{2+})$**

### Aufgabe 3

- a) Nennen Sie ein Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff aus Methan. Geben Sie die wichtigen Verfahrensschritte an und formulieren Sie die Gleichungen der auftretenden Reaktionen! (3 P)



oder



In beiden Fällen folgt die **Wassergasschiftreaktion  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$**  (1), gefolgt von der **Abtrennung des  $\text{CO}_2$**  (1).

- b) Ein großer Teil des für die Herstellung von Schwefelsäure benötigten Schwefels stammt aus der Aufbereitung von Erdöl und Erdgas.

Welche Schwefelverbindung wird zunächst erhalten? Nach welchem Verfahren wird daraus Schwefel gewonnen? Geben Sie die Reaktionsgleichungen an!

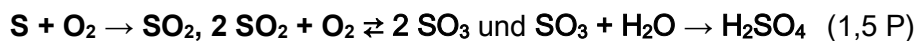
Formulieren Sie die Gleichungen der Reaktionen, nach denen aus Schwefel Schwefelsäure hergestellt wird!

Die zweite Reaktion ist eine Gleichgewichtsreaktion, bei der die Bildung des gewünschten Produkts exotherm abläuft. Welche Maßnahmen können ergriffen werden, um das Gleichgewicht möglichst weit auf die Seite des gewünschten Produkts zu verschieben? Welches allgemeingültige Prinzip liegt Ihrer Antwort zugrunde? (6 P)

S wird als  **$\text{H}_2\text{S}$**  erhalten, Umsetzung nach **Claus-Verfahren:** (1 P)



Herstellung von  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :



Gleichgewicht nach rechts durch

**Niedrige Temperatur** (daher Katalysator), **Überschuss eines Eduktes ( $\text{O}_2$ )**, **Entfernen des Produktes aus dem Gleichgewicht** (1,5 P)

**Prinzip von Le Chatelier oder Gesetz vom kleinsten Zwang(1)**, Gesamt: 6 P

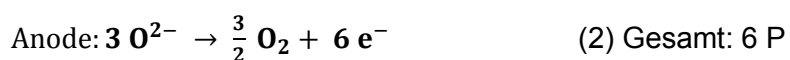
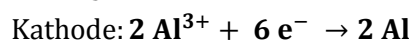
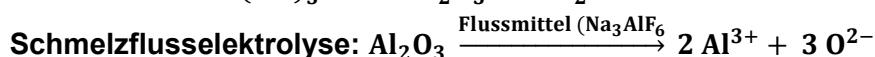
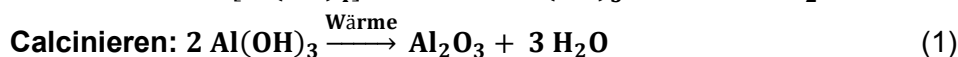
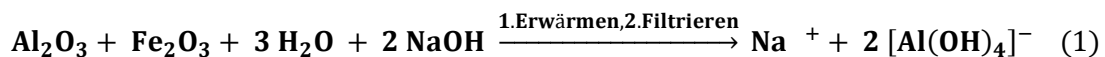
- c) Nennen Sie eine technisch wichtige Eigenschaft des Metalls Al! Geben Sie eine darauf basierende Verwendung an!

Al: **Geringe Dichte, Passivierbarkeit, Duktilität** → **Leichtbauwerkstoff** (1)

Ein wichtiger Rohstoff für die Herstellung von Aluminium ist Bauxit, im Wesentlichen ein Gemisch aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

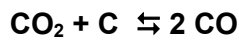
Welche sind die vier wesentlichen Schritte der Herstellung von Aluminium aus diesem Rohstoff? Formulieren Sie die Gleichungen der dabei ablaufenden chemischen Reaktionen!

**Aufschluß:**



- d) Im Hochofen wird als Reduktionsmittel CO verwendet, das durch die partielle Verbrennung von Koks gebildet wird. Neben der erwünschten Bildung von CO<sub>2</sub> durch die Reaktion mit dem Fe- Oxid kann auch die Boudouard-Reaktion, bei der freier Kohlenstoff gebildet wird und der sich im Eisen löst, ablaufen.

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung der Boudouard-Reaktion! (1 P)



Welche nachteilige Auswirkung hat der gelöste Kohlenstoff auf die Eigenschaften von Roheisen?

Roheisen wird **spröde** (1 P)

Nennen Sie ein Verfahren bei der Herstellung von Stahl, durch das der Gehalt an Kohlenstoff herabgesetzt wird! (1 P)

**Sauerstoff-Blasverfahren („Windfrischen“)** oder **Elektrostahlverfahren**

- e) Was versteht man unter Korrosion und was ist ein Lokalelement? (1 P)

Korrosion: **Zerstörung von Werkstoffen durch chemische Reaktionen.**

Lokalelement: Entsteht durch **leitenden Kontakt zwischen edlerem und unedlerem Metall**, wenn die **Kontaktstelle in einen Elektrolyten eintaucht.**

Eindeutig erkennbare Skizze ist ebenfalls richtig!

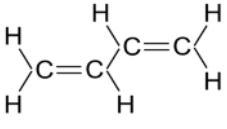
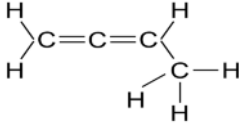
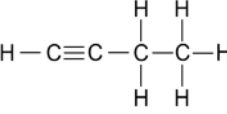
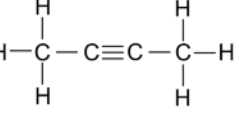

- f) Nennen Sie zwei wichtige Methoden zum Korrosionsschutz! (1 P)

**Überzüge, Opferelektroden, Eigenschutz = Passivierung, Fremdstrom**

Die Studenten haben unter den o.a. Stichworten die freie Auswahl; Nennung konkreter Verfahren wie **Emaillieren, Lackieren, Galvanisieren, Opferanoden aus Mg, Passivierung durch Zusatz von Cr, Al oder Si** lassen wir ebenfalls gelten!

Aufgabe 4:

- a) Es gibt fünf organische Verbindungen mit der Summenformel  $C_4H_6$ . Wählen Sie zwei davon aus und geben Sie die Lewis- Formeln der gewählten Verbindungen an, ordnen sie die Verbindungen einer Verbindungsklasse zu und geben den korrekten Namen der Verbindungen an! (3 P)

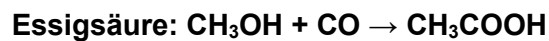
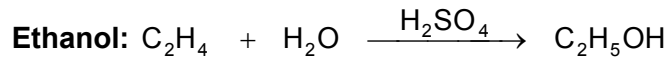
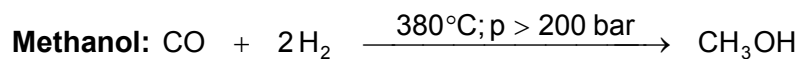
	
<b>Alkene</b>	<b>Alkene</b>
<b>Buta-1,3-dien</b>	<b>Buta-1,2-dien</b>
	
<b>Alkine</b>	<b>Alkine</b>
<b>1-Butin</b>	<b>2-Butin</b>
	
<b>Cycloalkene</b>	
<b>Cyclobuten</b>	

je 0,5 P auf die Formel, die Verbindungsklasse und den Namen

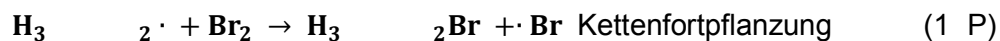
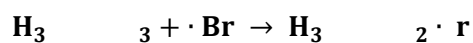
- b) Zeichnen Sie die Lewis- Formeln der Verbindungen 2-Methylbutan, Buta-1,3-dien und Ethin! Zeichnen Sie die charakteristischen Strukturelemente (funktionellen Gruppen) der Verbindungsklassen Alkene, Carbonsäuren und Ketone! (3 P)

Name	Formel	Klasse	Fkt. Gruppe
2-Methylbutan	<pre>       H             H-C-H           H       H   H                 H-C - C - C - C-H                   H   H   H   H           </pre>	Alkene	<pre>       R       R        \     /         C=C        /     \       R       R           </pre>
1,3-Butadien	<pre>       H       H       H        \     /       \         C=C       C=C        /           \       H             H           </pre>	Carbonsäuren	<pre>       O              -C               OH           </pre>
Ethin	$\text{H} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{H}$	Ketone	<pre>       O              -C        \           </pre>

- c) Geben Sie die Reaktionsgleichungen an, nach denen Methanol, Ethanol und Essigsäure technisch hergestellt werden! (3 P)



- d) Erläutern Sie den Reaktionsmechanismus einer Radikalkettenreaktion anhand der Bildung von  $\text{H}_3\text{CCH}_2\text{Br}$  aus Ethan und  $\text{Br}_2$ ! (3 P)



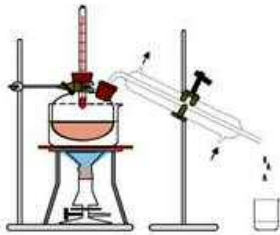
(eine Abbruchreaktion ist ausreichend) (1P)



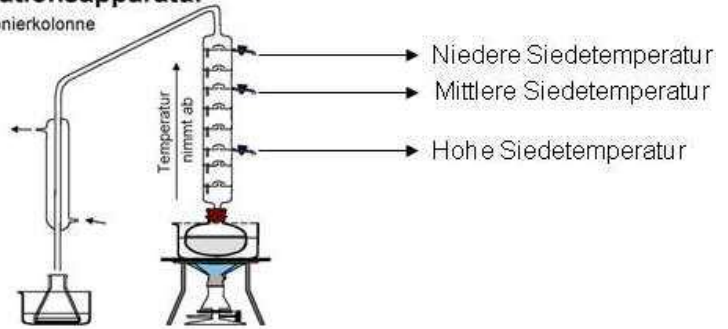
- e) Erklären Sie anhand einer einfachen Skizze den Unterschied zwischen einer einfachen Destillation und einer Destillation mit Fraktionierkolonne! Machen Sie qualitativ kenntlich, an welchen Stellen Produkte mit hohem, mittlerem und niedrigem Siedepunkt erhalten werden!  
(3 P)

## Destillationsapparaturen

**Destillationsapparat**  
einfach



**Destillationsapparat**  
mit Fraktionierkolonne



- f) Was versteht man unter einem Makromolekül und was versteht man unter Polymerisation?  
(2 P)

**Makromolekül:** aus vielen gleichen oder unterschiedlichen Atomen und Atomgruppen bestehendes Molekül

**Polymerisation:** Chemische Verknüpfung kleiner Moleküle (Monomere) zu einem Makromolekül (Polymer) durch Reaktion zwischen Mehrfachbindungen (meist Doppelbindungen) oder durch Aufspaltung ringförmiger Atomverbände.

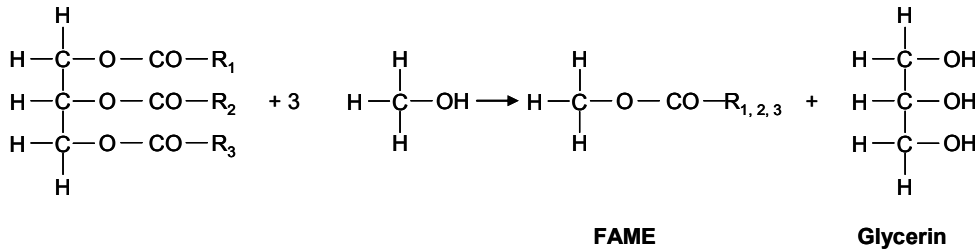
- g) Geben Sie die Konstitutionsformeln der charakteristischen Gruppen von Polypropylen, Polyacrylnitril und Polystyrol an! Aus welchen Monomeren werden die genannten Polymere hergestellt?  
(3 P)

Polypropylen Herstellung aus <b>Propen</b>	$\left[ \begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\   &   \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	Polyacrylnitril Herstellung aus <b>Acrylnitril</b>	$\left[ \begin{array}{cc} \text{H} & \text{CH}_3 \\   &   \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\   &   \\ \text{H} & \text{CN} \end{array} \right]_n$	Polystyrol Herstellung aus <b>Styrol</b>	$\left[ \begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\   &   \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n$
---	---	---	--	---	--

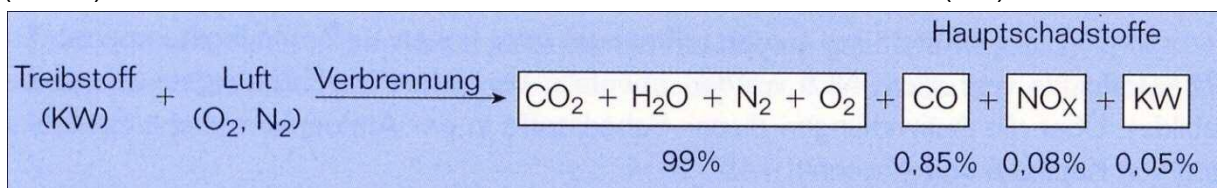
Aufgabe 5:

- a) Geben Sie die Hauptbestandteile von Benzin und Dieseldieselkraftstoff an! (2 P)  
 Benzin (Ottokraftstoff): **C<sub>7-10</sub> (Hauptsächlich) Alkane**  
 Diesel: **C<sub>12-18</sub> Alkane, Cycloalkane, Aromaten**

- b) Geben Sie den Hauptbestandteil von Biodiesel an! Nach welcher Reaktionsgleichung wird er hergestellt? (2 P)  
 Biodiesel: **Fettsäuremethylester, FAME**  
 hergestellt nach:



- c) Was versteht man unter der Zündverzugszeit bei einem Verbrennungsprozess? (1 P)  
**Zeit zum Aufbau eines genügend großen Radikalpools (Zündung)**
- d) Nennen Sie die wichtigsten Bestandteile des bei der motorischen Verbrennung entstehenden Gasmischs! Nennen Sie wenigstens zwei Bestandteile des Produktgemischs, die als Schadstoffe angesehen werden müssen! Klassifizieren Sie die Komponenten des Gemischs als Hauptbestandteile (jeweils mehr als 1 %) und als Nebenbestandteile (< 1 % im Einzelfall)! Welcher weitere Schadstoff entsteht, wenn ein Motor (Diesel) mit Luftüberschuss betrieben wird? (5 P)

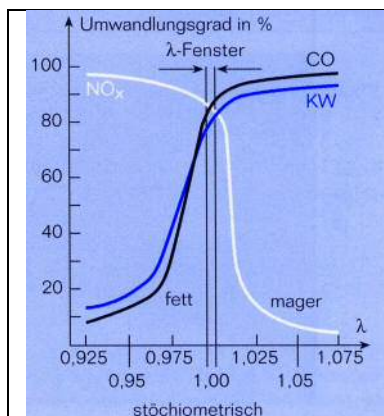


Diesel: **Zusätzlich Ruß** (1 P)

- e) Warum muss ein Ottomotor mit einem stöchiometrischen ( $\lambda = 1$ ) Kraftstoff- Luft- Gemisch betrieben werden, um einen Dreiwegekatalysator sinnvoll einsetzen zu können? (2 P)

Ist  $\lambda < 1$ , steht **nicht genügend Oxidationsmittel (O<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>)** zur Verfügung, um **CO und unverbrannte Kohlenwasserstoffe zu oxidieren**.

Ist  $\lambda > 1$ , steht **nicht genügend Reduktionsmittel (CO, Kohlenwasserstoffe)** zur Verfügung, um **NO und NO<sub>2</sub> zu reduzieren**.



**Skizze, in der das nebenstehende Diagramm erkennbar ist, wird ebenfalls akzeptiert, falls Umsätze begründet werden.**

- f) Durch welches Katalysatorkonzept werden die Stickoxide aus dem Abgas von Dieselfahrzeugen und von Großfeuerungsanlagen entfernt? Geben Sie für ein Gemisch aus je 50 % NO und NO<sub>2</sub> die Gleichung der zur Entfernung der Stickoxide führenden Reaktion an! Durch welches Reduktionsmittel werden die Stickoxide entfernt? In welcher Form wird das Reduktionsmittel im Fahrzeug mitgeführt? Durch welche Reaktion wird das Reduktionsmittel im Fahrzeug erzeugt? (4 P)

Konzept: **SCR** (0.5 P)

Reaktion:  $2 \text{NO} + 2 \text{NO}_2 + 4 \text{NH}_3 \rightarrow 4 \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$  (1 P)

Reduktionsmittel: **NH<sub>3</sub>** (1 P)

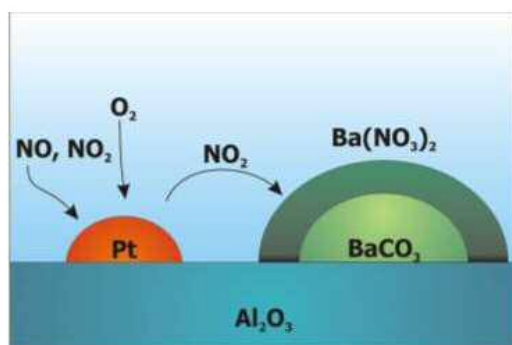
Im Fahrzeug: **Wässrige Harnstofflösung** (0.5 P)

Hydrolyse des Harnstoffs:  $(\text{H}_2\text{N})_2\text{CO} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2$  (1 P)

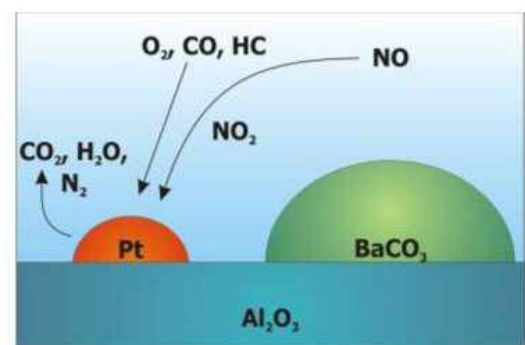
- g) Beschreiben Sie das Prinzip eines Speicherkatalysators zur Verringerung der NO<sub>x</sub>-Emission! (2 P)

**Magere Betriebsphase: NO<sub>x</sub> wird an BaCO<sub>3</sub> gebunden**

**Fette Betriebsphase: NO<sub>x</sub> wird desorbiert und an Pt zu N<sub>2</sub> reduziert**



Magerphase (lean) = O<sub>2</sub> – Überschuss

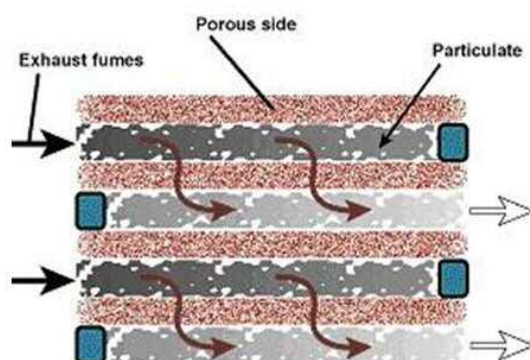


Fettphase (rich) = O<sub>2</sub> – Mangel

- h) Erklären Sie anhand einer schematischen Skizze die Funktionsweise eines Russfilters! Aus welchen Werkstoffen werden die Filter gefertigt? Welche Probleme treten auf? (2 P)

**Zu erkennen sein sollen die einseitig geschlossenen Kanäle und der Gasfluss, als Probleme werden die Stichworte Regenerierung und die hohe Temperatur erwartet.**

Keramische Filter aus Siliziumkarbid oder Kordierit sammeln die Partikel



**Problem:** Regenerierung der Filter

- Oxidation des Rußes verlangt 600°C (wesentlich höher als Abgastemperatur)

- Verwendung eines Katalysators, aber ungenügender Kontakt zwischen Ruß und Katalysator

Zusatzfrage:

- 1) Welche Kennzahlen beschreiben die Qualität von Benzin und von Dieselmotor und wie sind diese Zahlen definiert? (2 P)

Benzin: **Oktanzahl**, i. e. **Volumenanteil von iso-Oktan (2,2,4-Trimethylpentan) in einem iso-Oktan/ n-Heptan- Gemisch, das die gleiche Klopfestigkeit wie der zu prüfende Kraftstoff aufweist.**

Diesel: **Cetanzahl**, i. e. **Volumenanteil an n-Hexadecan (Cetan) in einem Cetan/ 1-Methylnaphthalin- Gemisch, das dieselbe Zündwilligkeit aufweist wie der zu prüfende Dieseltreibstoff.**

- 2) Wie viel Luft [l/h] (bezogen auf 0 °C und 101.3 hPa) müssen Sie einem Dieselmotor zuführen, der 5,65 l/h verbraucht?

Verwenden Sie für die Rechnung einen aus 100 % Cetan ( $C_{16}H_{34}$ , Dichte  $\rho = 0,8 \text{ g/cm}^3$ ) bestehenden Kraftstoff! Gehen Sie von einer vollständigen Verbrennung des Treibstoffs aus! Setzen Sie  $x(O_2, \text{Luft}) = 0,2$  und setzen Sie das molare Volumen von Luft auf 20 l/mol fest! (3 P)

1. Berechne  $\dot{m}$  bzw.  $\dot{n}$  des Treibstoffs:

$$\dot{m}(Tr) = \dot{V}(Tr) \cdot \rho(Tr). \quad (0,5 P)$$

Mit  $\dot{m} = \dot{n} \cdot M$  wird daraus:

$$\dot{n}(Tr) = \frac{\dot{V}(Tr) \cdot \rho(Tr)}{M(Tr)} \quad (0,5 P)$$

2. Berechne  $\dot{n}$  von  $O_2$

$$\dot{n}(O_2) = 24,5 \cdot \dot{n}(Tr) \quad (0,5 P)$$

3. Berechne  $\dot{n}$  und  $\dot{V}$  von Luft

$$\dot{n}(Luft) = \frac{\dot{n}(O_2)}{0,2} \Rightarrow \dot{V}(Luft) = \dot{n}(\quad) \cdot V_m \quad (0,5 P)$$

4. Fasse zusammen und setze Zahlen ein:

$$\dot{V}(Luft) = \frac{\dot{V}(Tr) \cdot \rho(Tr)}{M(Tr)} \cdot \frac{24,5}{x(O_2, Luft)} \cdot V_m =$$
$$\frac{5,65 \cdot 0,8 \cdot 1000 \cdot 24,5 \cdot 20 \text{ l} \cdot \text{g} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{mol} \cdot \text{l}}{226 \cdot 0,2 \text{ h} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{l} \cdot \text{g} \cdot \text{mol}} = 49000 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Zusammenfassen: 0,5 P, Zahlen einsetzen und Auswerten: 0,5 P

Hinweis: Durch die Beantwortung der Zusatzfrage können Sie an anderer Stelle fehlende Punkte ausgleichen, die maximale Zahl von 100 Punkten aus den Fragen 1 bis 5 bleibt unverändert, die für das Erreichen der Note 4.0 erforderliche Punktzahl (50) wird unter Einschluss von Punkten aus der Zusatzfrage berechnet.