

**Bearbeiten Sie bitte vier der Aufgaben 1 bis 6!**

Chrom ist ein Nebengruppenelement. Sein Name leitet sich vom griechischen Wort *chroma* = Farbe ab, da Chromverbindungen viele verschiedene Farben haben. Natriumdichromat ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) wird zur Beschichtung von Oberflächen verwendet, außerdem ist es ein Oxidationsmittel in der organischen Chemie. Butanal ist ein wichtiger niederer Aldehyd. Er wird zur Herstellung von Kunstharzen und Weichmachern eingesetzt. Aus Butanal lassen sich Butanol und Butansäure herstellen. Der Alkohol ist ein Lösungsmittel für Lacke und wird auch als Biokraftstoff für Autos verwendet.

1. Das Element Chrom besteht aus vier natürlichen Isotopen, von denen  $^{50}\text{Cr}$  radioaktiv ist.

1.a Natürliches Chrom besteht aus vier Isotopen:

Isotop	Häufigkeit in Prozent	relative Isotopenmasse
$^{50}\text{Cr}$	4,35	49,95
$^{52}\text{Cr}$	83,79	51,94
$^{53}\text{Cr}$	9,50	52,94
$^{54}\text{Cr}$	2,36	53,94

Bestimmen Sie die durchschnittliche, relative Atommasse von Chrom aus der Häufigkeit und der Masse der natürlichen Isotope. (4 P)

1.b Definieren Sie die Begriffe Reinelement und Mischelement und ordnen Sie den richtigen Begriff dem Element Chrom zu. (3 P)

1.c Definieren Sie folgende Begriffe:  
- Isotop  
- natürliches Isotop  
- relative Atommasse. (3 P)

1.d Berechnen Sie die Masse eines  $^{50}\text{Cr}$ -Atoms in Gramm. (4 P)

1.e Elementares Chrom lässt sich aus der Reaktion von Chrom(III)oxid mit Aluminium gewinnen. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung. (2 P)

1.f Berechnen Sie die Masse an Chrom, die man erhält, wenn man 380 g Chrom(III)oxid einsetzt und die Ausbeute 80 % beträgt. (5 P)

1.g Zeigen Sie, dass es sich bei der Reaktion von 1.e um eine Redoxreaktion handelt. (3 P)

2. Die technisch wichtigste Chromverbindung ist das giftige Natriumdichromat  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , d.h. zwei Moleküle Wasser sind im kristallinen Festkörper pro Salzmolekül gebunden.
- 2.a Berechnen Sie die Masse an wasserfreiem Salz in einer Probe von 1,000 g  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . (5 P)
- 2.b Zur Herstellung von Natriumdichromat vermischt man im ersten Schritt natürlich vorkommendes Chrom(III)oxid mit Natriumcarbonat und erhitzt das Reaktionsgemisch in Gegenwart von Sauerstoff auf 1200 °C. Es bilden sich Natriumchromat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) und ein Gas. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung. (2 P)
- 2.c Bei der Durchführung der Reaktion in 2.b erhält man aus 100 g Chrom(III)oxidhaltigem Erz 24,3 g reines  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ . Berechnen Sie den Gehalt des Erzes an Chrom(III)oxid in Massenprozent. (5 P)
- 2.d Berechnen Sie das Volumen an Sauerstoff, das für die Bildung von 24,3 g  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  bei 1200 °C und 1,013 bar benötigt wird. (4 P)
- 2.e Das gebildete Natriumchromat wird heiß mit konzentrierter Schwefelsäure versetzt, dabei entstehen Natriumdichromat  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , Natriumsulfat und Wasser. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung. (2 P)
- 2.f Berechnen Sie die Masse einer 96 %igen Schwefelsäure-Lösung, die zur Herstellung von 13,1 g Natriumdichromat nötig ist. (4 P)
- 2.g Berechnen Sie das Volumen der 96 %igen Schwefelsäure-Lösung, das der in 2.f ermittelten Masse entspricht. Die Dichte der Schwefelsäure-Lösung beträgt 1,84 g / mL. (3 P)
3. Eine wichtige Grundchemikalie in der organischen Chemie ist Butanal.
- 3.a Eine Möglichkeit, Butanal herzustellen, ist die sogenannte Hydroformylierung. Dabei reagiert Propen mit Kohlenmonoxid und Wasserstoff in einer Gleichgewichtsreaktion zu Butanal. Die Reaktion wird bei etwa 150 °C in Gegenwart eines Katalysators durchgeführt. Alle Reaktionsteilnehmer sind gasförmig. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung und das Massenwirkungsgesetz mit entsprechender Einheit für die Gleichgewichtskonstante. (4 P)
- 3.b Erklären Sie, ob man die Reaktion bei hohem oder bei niedrigem Druck durchführen sollte, um eine hohe Ausbeute zu bekommen. (3 P)
- 3.c Experimente haben ergeben, dass man die Reaktion besser bei einer relativ niedrigen Temperatur – etwa bei 150 °C – durchführt. Erklären Sie diese Tatsache. (3 P)
- 3.d Diskutieren Sie die Auswirkungen des unter 3.c gegebenen Temperaturbereiches auf die Reaktion auch im Hinblick auf die technische Durchführung und mögliche Lösungen des Problems. (3 P)
- 3.e Zeichnen und beschriften Sie das Energiediagramm der katalysierten Reaktion. (4 P)
- 3.f Definieren Sie die Aufgaben eines Katalysators. Nennen Sie jeweils zwei Parameter, die der Katalysator verändert und zwei Parameter, auf die der Katalysator keinen Einfluss hat. (4 P)
- 3.g Ein früher gebräuchlicher Katalysator für die Hydroformylierung war Cobaltcarbonylhydrid,  $\text{Co}(\text{CO})_4\text{H}$ . Berechnen Sie die Massenprozentante der einzelnen Elemente. (4 P)

4. Mehrere organische Verbindungen haben die selbe Lewisformel wie Butanal, besitzen aber andere funktionelle Gruppen.
- 4.a Zeichnen Sie die Lewisformel und die Skelettformel von Butanal und bestimmen Sie die Winkel am C1-Atom und am C2-Atom. (4 P)
- 4.b Zeichnen und benennen Sie einen zyklischen Alkohol, der dieselbe Summenformel wie Butanal hat. (3 P)
- 4.c Zeichnen und benennen Sie eine Verbindung mit derselben Summenformel wie Butanal, die eine cis-trans-Isomerie aufweist, und erklären Sie den Begriff „cis-trans-Isomerie“ an dem von Ihnen gewählten Beispiel. (5 P)
- 4.d Zeichnen und benennen Sie eine Verbindung mit derselben Summenformel wie Butanal, die ein asymmetrisches C-Atom enthält. Begründen Sie und erklären Sie den Begriff „Chiralität“ an Ihrem Beispiel. (5 P)
- 4.e Verbrennt man 3,6 g Butanal, wird eine Verbrennungsenthalpie von 125,4 kJ frei. Berechnen Sie die molare Verbrennungsenthalpie von Butanal. (2 P)
- 4.f Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf, die zur Standardverbrennungsenthalpie von Butanal gehört (Verbrennungsgleichung). (2 P)
- 4.g Berechnen Sie aus der Verbrennungsenthalpie (A. 4.e) und den hier gegebenen Bildungsenthalpien die Bildungsenthalpie von Butanal. ( $\Delta_{\text{B}}H(\text{CO}_2) = -394 \text{ kJ / mol}$ ;  $\Delta_{\text{B}}H(\text{H}_2\text{O}) = -286 \text{ kJ / mol}$ ). (4 P)
5. Der Alkohol Butan-1-ol lässt sich aus Butanal herstellen.
- 5.a Zur Herstellung von Butan-1-ol gibt man 9 g Butanal in Lösung und 8 g Wasserstoff in einen Druckreaktor, der ein Volumen von einem Liter hat. Die Temperatur beträgt 27 °C. Berechnen Sie den Druck im Reaktor vor der Reaktion (vernachlässigen Sie dabei das Volumen der Butanal-Lösung). (3 P)
- 5.b Nun gibt man fein pulverisiertes Nickel als Katalysator dazu, um die Reaktion zu starten. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung und benennen Sie den Reaktionstyp. (3,5 P)
- 5.c Die Reaktion verläuft mit einer Ausbeute von 80 %. Berechnen Sie die Stoffmenge an Butan-1-ol, die gebildet wird. (3 P)
- 5.d Berechnen Sie den Druck nach der Reaktion im Reaktor, die Temperatur beträgt ebenfalls 27 °C. (3,5 P)
- 5.e Nennen Sie zwei mögliche Gründe für Ausbeuteverluste bei chemischen Reaktionen. (3 P)
- 5.f Vergleichen Sie die Siedetemperaturen der drei Stoffe Pentan, Butanal und Butan-1-ol und erklären Sie die großen Unterschiede in den Siedetemperaturen.

Verbindung	Pentan	Butanal	Butan-1-ol	
Siedetemperatur	36 °C	74,4 °C	117,5 °C	
Molmasse	72 g / mol	?	74 g / mol	(9 P)

6. Butanal reagiert in saurer Lösung mit Dichromat-Ionen ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) zu Butansäure und  $\text{Cr}^{3+}$ -Ionen.
- 6.a Stellen Sie die Reaktionsgleichung auf. Ermitteln Sie die Oxidationszahlen aller Atome und markieren Sie in der Reaktionsgleichung Oxidation und Reduktion. Gleichen Sie die Redoxreaktion aus. (9 P)
- 6.b Löst man 5 g Butansäure in Wasser, um insgesamt einen Liter wässrige Butansäurelösung zu erhalten, beträgt der pH-Wert 3. Berechnen Sie den  $K_s$ -Wert der Butansäure. (4 P)
- 6.c Berechnen Sie, wie viel Prozent der Butansäuremoleküle in der Lösung in 6.b dissoziiert sind. (2,5 P)
- 6.d Nennen Sie alle Ionen und Moleküle, die in einer wässrigen Butansäurelösung enthalten sind. (2,5 P)
- 6.e Formulieren Sie zwei Reaktionsgleichungen zur Herstellung des Natriumsalzes von Butansäure. (3 P)
- 6.f Erklären Sie das elektrische Leitfähigkeitsverhalten von  
- flüssiger Butansäure als Reinstoff  
- flüssigen Natriumsalz der Butansäure als Reinstoff. (4 P)

Universelle Gaskonstante

$R = 0,0831 \text{ bar}\cdot\text{L}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$