

Platznummer:

**Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer am Landeswettbewerb 2019!**

- Sie dürfen als Hilfsmittel einen nicht programmierbaren Taschenrechner, das Periodensystem, die Formeln, Konstanten und  $\delta$ -Werte der  $^1\text{H-NMR}$  (auf den letzten beiden Seiten), verwenden. **Rechnen Sie mit allen Stellen der Konstanten und der Molmassen in diesem PSE.**
- Schreiben Sie Ihre Nummer in das Feld links oben! Geben Sie dieses Aufgabenheft (24 Seiten) ab. **Nehmen Sie das Heft nicht auseinander!** Sie haben auch Konzeptpapier zur Verfügung, dieses wird nicht abgesammelt und nicht bewertet!
- Sollten Sie allerdings in ein Antwortkästchen etwas Falsches geschrieben haben, dann schreiben Sie die richtige Antwort auf Konzeptpapier. Markieren Sie dabei genau, zu welchem Antwortkästchen die Antwort gehört und geben Sie dieses Papier **mit Ihrer Platznummer** zusätzlich ab.
- **Wenn Sie aufgefordert werden, eine Berechnung durchzuführen („Berechnen Sie...“), so müssen Sie diese auch explizit zeigen, sonst kommt es zu Punkteabzügen!**
- Unterstreichen Sie im Fall eines Rechenbeispiels das gefragte Endresultat.
- Fehlende oder falsche Einheiten bei **Endergebnissen** führen zu **Punkteabzügen**.
- Bedenken Sie, dass jedes Beispiel leichte und schwierige Abschnitte hat, wobei die leichteren Teile ohne weiteres nach einem schwierigen Abschnitt kommen können. Es ist daher anzuraten, sich jede Aufgabe bis zum Ende durchzulesen, umso mehr, als Beispielteile auch voneinander weitgehend unabhängig sein können.
- Sie haben für den gesamten theoretischen Wettbewerbsteil 180 Minuten Zeit. Die späteste Abgabezeit wird auf die Tafel geschrieben.



**Problem A**

**8 Punkte**

**Multiple Choice**

Von den angebotenen Antworten/Feststellungen ist jeweils nur eine anzukreuzen!

1. Welche Oxidationszahl ist für Mangan in einer Verbindung nicht möglich?

- 2       4       6       7       8

2. Wie groß ist die Summe aller freien Elektronenpaare in je einem Molekül der folgenden Verbindungen: Ammoniak, Ethanol, Essigsäure, 2,2-Dichlorethanol?

- 5       10       12       14       15

3. Bei welcher Reaktion kann die Bildung eines farbigen Gases beobachtet werden?

- CaH<sub>2</sub> mit H<sub>2</sub>O       Pb mit HNO<sub>3</sub>       Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> mit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>       ZnS mit HCl       Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mit HCl

4. Welches Vermischen von jeweils 0,1 M Lösungen folgender Substanzen führt zur Bildung von zwei verschiedenen Niederschlägen?

- AlCl<sub>3</sub> mit Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>       Pb(Ac)<sub>2</sub> mit SrBr<sub>2</sub>       Mg(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> mit Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>       Ba(OH)<sub>2</sub> mit CuSO<sub>4</sub>       AgNO<sub>3</sub> mit NH<sub>4</sub>Cl

5. Welches Gas verursacht beim Einleiten in eine gesättigte Calciumhydroxid-Lösung die Bildung eines milchigen Niederschlags?

- H<sub>2</sub>       O<sub>2</sub>       CO<sub>2</sub>       CH<sub>4</sub>       CO

6. Für welche wässrigen Lösungen folgender Salze kann die Konzentration mittels Photometrie bestimmt werden:

- I) Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>      II) KMnO<sub>4</sub>      III) Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ?

- I       III       I und II       I, II und III       keine



45. Österreichische Chemieolympiade  
Landeswettbewerb, Mai 2019  
**Theoretischer Teil**  
**Angabe mit Antwortkästchen**



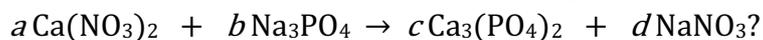
7. Welche Substanz hat bei 25°C und 1,0 bar die höchste Löslichkeit (in mol/L) in Wasser?

- CH<sub>4</sub>       NH<sub>3</sub>       AgCl       CaSO<sub>4</sub>       CO<sub>2</sub>

8. Welche der folgenden Salzformeln ist falsch?

- NaHPO<sub>4</sub>     (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>     FeO(OH)     Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>     Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>

9. Wie lauten die Koeffizienten *a*, *b*, *c* und *d* in der unten abgestimmten Reaktionsgleichung?



- 3, 1, 1, 3     3, 2, 1, 3     3, 1, 1, 6     3, 2, 2, 6     3, 2, 1, 6

10. Welche der folgenden organischen Substanzen haben die gleiche Summenformel?

I: Pentan-1,3-diol

II: Pent-4-en-1,3-diol

III: Butan-1,3-diol

IV: 2-Methylbutan-1,3-diol

V: 2-Methylbutan-1,2-diol

- alle       keine       I und II       I, IV und V       II und III

11. Welche der folgenden Lösungen mit *c* = 2 mol/L kann verwendet werden, um Al<sup>3+</sup>-Ionen von Fe<sup>3+</sup>-Ionen (jeweils gelöst in Wasser) zu trennen?

- NaOH       HCl       H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>       NaCl       AgNO<sub>3</sub>

12. Welche Produkte werden bei der Elektrolyse einer 1 M NaBr-Lösung in einer Lösung mit 1 M H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> gebildet (es gibt keinerlei Überspannungen)?



- Na + O<sub>2</sub>     Na + Br<sub>2</sub>     H<sub>2</sub> + Br<sub>2</sub>     H<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>     Na + H<sub>2</sub>



**Problem B**

**7 Punkte**

**Vier „kleine“ Rechenbeispiele**

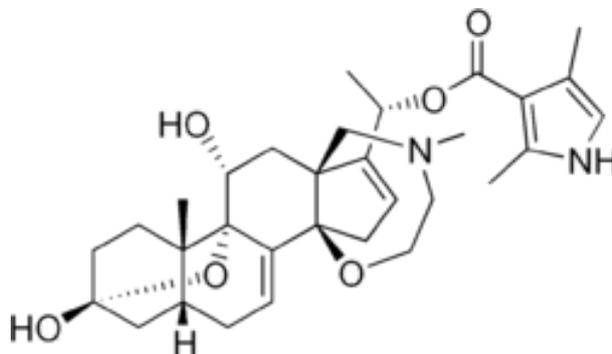
**B.1. Konzentrationen**

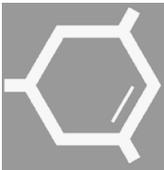
a) Berechnen Sie die Konzentration der  $\text{Na}^+$ -Ionen in einer wässrigen Lösung, die durch Auflösen von 8,40 g  $\text{NaHCO}_3$  und 21,2 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  in wenig Wasser und nachfolgendem Auffüllen auf 500 mL entstanden ist.

**B.2. Zwei Summenformeln**

Die hochexplosive Substanz HNS ( $M < 500$  g/mol) hat die folgenden Elementarzusammensetzung: 37,35% C, 1,34% H, 18,67% N, Rest Sauerstoff.

Batrachotoxin ist das Gift der Pfeilgiftfrösche, es hat die nebenstehende Struktur:





b) Berechnen Sie die Summenformel von HNS.

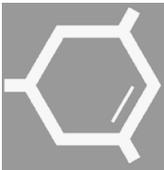
c) Ermitteln Sie die Summenformel von Batrachotoxin.

### B.3. Ein Azeotrop

Die azeotrope Mischung von HCl und H<sub>2</sub>O enthält 20,24% (*m/m*) HCl, besitzt eine Dichte  $\rho = 1,102 \text{ g/cm}^3$  und siedet bei 110°C.

d) Berechnen Sie die Konzentration der HCl im Azeotrop in mol/L.

e) Welches Volumen dieses Azeotropes ist zum vollständigen Auflösen von 25,0 g einer Mischung aus Zn und Al (1:1 (*m/m*)) mindestens notwendig? Sollten Sie bei d) keinen Wert erhalten haben, dann rechnen Sie mit  $c(\text{Azeotrop}) = 5,80 \text{ mol/L}$ .



**B.4. Eine(?) Redoxreaktion**

- ①  $2 \text{MnO}_4^- + 1 \text{H}_2\text{O}_2 + 6 \text{H}^+ \rightleftharpoons 2 \text{Mn}^{2+} + 3 \text{O}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$   
②  $2 \text{MnO}_4^- + 3 \text{H}_2\text{O}_2 + 6 \text{H}^+ \rightleftharpoons 2 \text{Mn}^{2+} + 4 \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$   
③  $2 \text{MnO}_4^- + 5 \text{H}_2\text{O}_2 + 6 \text{H}^+ \rightleftharpoons 2 \text{Mn}^{2+} + 5 \text{O}_2 + 8 \text{H}_2\text{O}$   
④  $2 \text{MnO}_4^- + 7 \text{H}_2\text{O}_2 + 6 \text{H}^+ \rightleftharpoons 2 \text{Mn}^{2+} + 6 \text{O}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$

f) Von den obigen Gleichungen beschreibt/beschreiben die Reaktion von Kaliumpermanganat mit Wasserstoffperoxid richtig (kreuzen Sie an):

alle Gleichungen     ②     ③     ③ und ④     ② und ④     keine

g) Berechnen Sie die Masse  $\text{KMnO}_4$ , die mindestens notwendig ist, um bei  $25,0^\circ\text{C}$  und  $1,01 \text{ bar}$   $112 \text{ cm}^3$  Sauerstoff zu erzeugen.



**Problem C**

**12 Punkte**

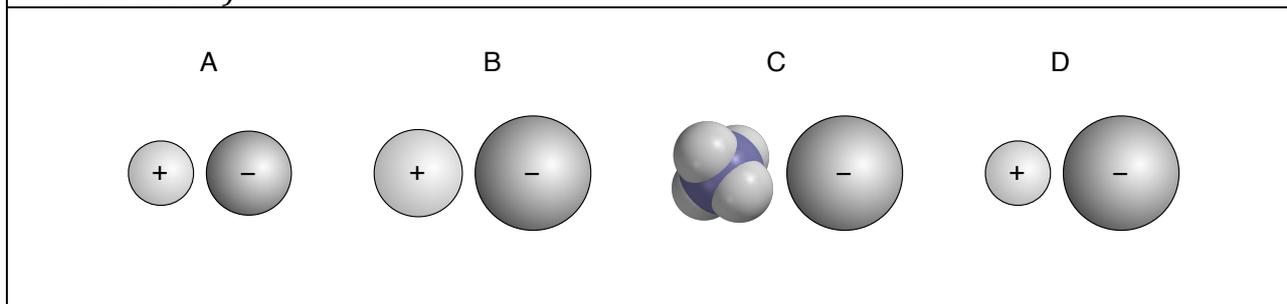
**Anorganisches zum Kuchenbacken**

Bei Lebensmittelchemie und Chemie in der Küche denkt man zu Recht in erster Linie an organische Verbindungen. Doch auch anorganische Stoffe - von Wasser ganz abgesehen - sind von Bedeutung. Drei Typen werden in diesem Beispiel in den Blick genommen.

**C.1. Halogenide – Salz und Salmiak**

Über die Rolle von Kochsalz braucht man wohl keine Worte zu verlieren. Weniger bekannt und kulinarisch auch von wesentlich geringerer Bedeutung ist vermutlich Salmiak. Beides sind Chloride, also Halogenide.

a) Die Abbildungen A bis D repräsentieren jeweils eines der folgenden Salze: Natriumchlorid, Kaliumchlorid, Ammoniumchlorid und Natriumfluorid. Alle Ionen sind im selben Maßstab dargestellt. Schreiben Sie jeweils die richtige Ionenformel unter die Abbildungen (also z.B.  $\text{Na}^+$  oder  $\text{Cl}^-$ )



Speisesalz ist natürlich kein Reinstoff. Es werden sogar ganz bewusst Stoffe zugesetzt, die bestimmte Eigenschaften bringen sollen. Medizinisch interessant ist die Iodprophylaxe, die Schilddrüsenerkrankungen vorbeugen soll. In Österreich ist sie nach §2 des Speisesalzgesetzes vorgeschrieben und darf nur in Ausnahmefällen weggelassen werden. Häufig wird Iod in Form von Natriumiodat ( $\text{NaIO}_3$ ) zugesetzt. Gehen wir von der gesetzlich vorgesehenen Maximalmasse von 20 mg Iod pro kg Speisesalz aus.

b) Berechnen Sie die Masse an Natriumiodat, welche in einem Päckchen (250 g) Speisesalz mit der oben gegebenen Iodmasse enthalten ist.



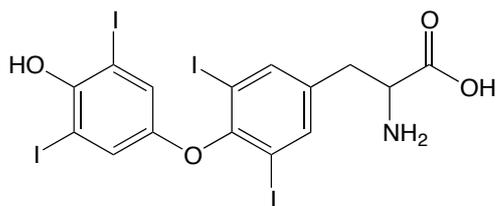
Jugendliche in Ihrem Alter haben einen Bedarf von etwa 40 - 200  $\mu\text{g}$  Iod pro Tag.

c) Berechnen Sie die Masse an Speisesalz mit dem oben angegebenen Iodgehalt von 20 mg/kg die eine Iodzufuhr von 180  $\mu\text{g}$  ermöglicht. (1) wenn man von 100%iger Iodaufnahme ausgeht (2) wenn man von nur 85%iger Aufnahme des Iods ausgeht.

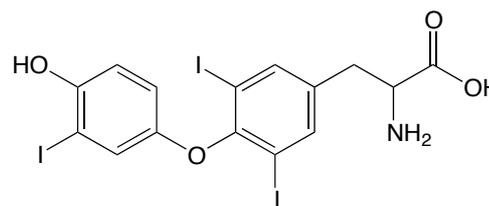
(1)

(2)

Das Iod wird in der Schilddrüse gebraucht, die damit hauptsächlich Thyroxin (Tetraiodthyronin,  $\text{T}_4$ ) und Triiodthyronin ( $\text{T}_3$ ) produziert.



Thyroxin ( $\text{C}_{15}\text{H}_{11}\text{I}_4\text{NO}_4$ )



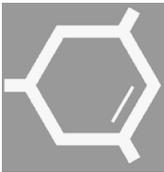
Triiodthyronin ( $\text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{I}_3\text{NO}_4$ )

Die beiden Hormone lagen bei einem Probanden in einem Massenverhältnis von  $\text{T}_4:\text{T}_3 = 40:1$  im Blut vor, ihre Gesamtmassenkonzentration betrug bei ihm 61,5  $\mu\text{g}/\text{L}$  Blut.

d) Berechnen Sie für den genannten Probanden die einzelnen Massenkonzentrationen von  $\text{T}_3$  und  $\text{T}_4$  in  $\mu\text{g}/\text{L}$ .

Die Schilddrüsenhormone beeinflussen Wachstum, Reifung und Stoffwechsel des Körpers. Zur Synthese benötigt die Schilddrüse allerdings Iodid und nicht Iodat. Letzteres wird im Körper hauptsächlich von Glutathion, einem Tripeptid, abgekürzt GSH reduziert. GSH dimerisiert dabei nach der Halbgleichung





e) Geben Sie die Oxidationszahlen von Iod in Iodat und Iodid an.

in Iodat:

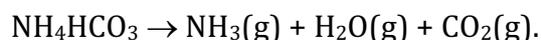
in Iodid:

f) Geben Sie eine abgestimmte Gesamtgleichung für die Reduktion von Iodat zu Iodid mit Hilfe von Glutathion an. Verwenden Sie GSH bzw. GSSG als Abkürzungen.

## C.2. Carbonate – Hirschhornsalz und Natron

Vom Hirschhorn, aus dem es ursprünglich tatsächlich gewonnen wurde, ist dem Hirschhornsalz bis heute der Name geblieben. Es besteht hauptsächlich aus Ammoniumhydrogencarbonat und Ammoniumcarbonat und ist ein Backtriebmittel, das für Lebkuchen, Mürbteige oder Spekulatius verwendet wird.

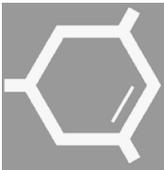
Reines  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  zerfällt beim Erhitzen im Backofen nach



g) Berechnen Sie das Gasvolumen, das gemäß dieser Gleichung aus 11 g Ammoniumhydrogencarbonat bei  $180^\circ\text{C}$  und 1,013 bar entsteht.

Nun ist wie erwähnt Hirschhornsalz eine Mischung aus Ammoniumhydrogencarbonat und Ammoniumcarbonat. Zur Aufklärung der Zusammensetzung wurden 2,384 g einer Hirschhornsalzprobe auf 473 K erhitzt, sodass nur mehr Gase vorlagen. Diese nahmen zusammen bei 100000 Pa ein Volumen von 3,598 L ein.

h) Geben Sie eine abgestimmte Gleichung für die Zersetzung von  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  unter den genannten Bedingungen an.



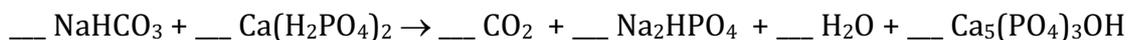
i) Berechnen Sie die Zusammensetzung des Hirschhornsalzes in Massenprozent.

\_\_\_\_\_ %  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$     \_\_\_\_\_ %  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$

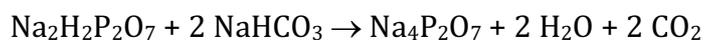
### C.3. Phosphat - im Backpulver

Der mit Ammoniumsalzen gebildete Ammoniak eignet sich nicht für alle Backwaren. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurden daher auch andere Backtriebmittel verwendet. Auch bei ihnen ist  $\text{CO}_2$  das Gas, welches den Teig auftreibt. Es wird im Allgemeinen aus Speisesoda (Natron, Natriumhydrogencarbonat,  $\text{NaHCO}_3$ ) durch Reaktion mit einer Säure freigesetzt. Als saure Komponente kommt Calciumdihydrogenphosphat in Frage, dabei entsteht Calciumhydroxidphosphat.

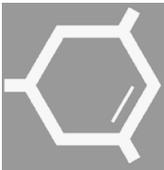
j) Stimmen Sie die Gleichung ab. Schreiben Sie ggf. auch 1 als Koeffizient explizit an.



Weiter verbreitet ist die Verwendung von Natriumdihydrogendiphosphat  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ . Der Gesamtvorgang der Gasbildung ist etwa der:



Da das entstehende Natriumdiphosphat einen stumpfen Geschmack hervorruft, ist Überdosierung zu vermeiden. Ein etwas eifriger Küchenchemiker mischt nun sein eigenes Backpulver aus 4,50 g  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$  und 4,00 g  $\text{NaHCO}_3$



k) Berechnen Sie die Stoffmenge an  $\text{CO}_2$ , die aus der genannten Masse an Natron maximal entstehen kann.

l) Berechnen Sie die Stoffmenge an  $\text{CO}_2$ , die in dem selbstgemachten Backpulver entstehen kann, wenn man von vollständigem Umsatz ausgeht.

Bei allen genannten Diphosphaten handelt sich um Salze der Diphosphorsäure (auch Pyrophosphorsäure, daher auch Pyrophosphat), welche aus Phosphorsäure entstehen kann.

m) Geben Sie die Summenformel der Diphosphorsäure an.

n) Zeichnen Sie die Valenzstrichformel des Diphosphatanions. Vergessen Sie nicht auf die formalen Ladungen und die nicht bindenden Elektronenpaare.



Problem D

13 Punkte

## Physikalische Chemie

### D.1. Einige Reaktionen im Hochofen

In einem Hochofen findet eine ganze Reihe von Vorgängen statt, sodass letztendlich aus einem oxidischen Eisenerz, Koks und Zuschlägen kohlenstoffhaltiges Eisen, Gichtgase und Schlacke entstehen. Wir wollen in dieser Aufgabe drei Reaktionen herausgreifen:

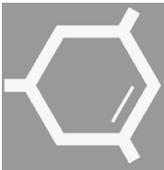
- $2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{C} \rightleftharpoons 4 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$
- $x \text{Fe} + \text{C} \rightleftharpoons \text{Fe}_x\text{C}$  ( $\text{Fe}_x\text{C}$  ist Zementit, der 6,69% ( $m/m$ ) C enthält)
- $\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$  (Boudouardsches Gleichgewicht).

Es sind hier einige kalorische Daten gegeben, die Sie zum Lösen der nachfolgenden Aufgaben benötigen werden. Sie werden zur Vereinfachung als  $T$ -unabhängig angesehen.

	C(s)	CO(g)	CO <sub>2</sub> (g)	Fe(s)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)
$\Delta_f H_{298}^\ominus$ (kJ/mol)	0	-111	-394	0	-824
$S_{298}^\ominus$ (J/mol·K)	5,70	198	214	27,3	87,4

a) Berechnen Sie  $x$  in der Formel des Zementits.

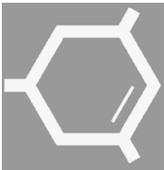
b) Berechnen Sie die  $\Delta_r H_{298}^\ominus$  und  $\Delta_r G_{298}^\ominus$  der Reduktion des  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mit C.



Das Boudouardsche Gleichgewicht ist  $T$ -abhängig, die Ausbeute an CO ist  $p$ -abhängig. Bei einer bestimmten Temperatur haben sich 50,0% des  $\text{CO}_2$  bei  $p_g = 1,00$  bar umgesetzt.

c) Berechnen Sie aus den gegebenen Daten die Gleichgewichtskonstante  $K_p$ . Schreiben Sie dafür eine Bilanztafel auf.

d) Berechnen Sie die Temperatur, bei der obige Gleichgewichtskonstante gilt. Sollten Sie bei c) keinen Wert erhalten haben, verwenden Sie  $K_p = 1,50$ .



## D.2. Gold und wie man es gewinnt

„Um die ungebrochene Nachfrage nach Gold zu bedienen, werden jährlich Erze und Abraum in der Größe von Megatonnen ausgebeutet, neuerdings auch Elektroschrott. Da die seit dem Ende des 19. Jahrhunderts gebräuchliche Cyanid-Laugerei enorme Risiken für Mensch und Umwelt mit sich bringt, sind Alternativen gefragt.“<sup>1</sup>

Betrachten wir diese Cyanid-Laugerei näher. Weltweit werden jährlich 66000 t NaCN für die Goldherstellung verbraucht. Dabei findet folgende Reaktion statt:



e) Wie heißt der Goldkomplex auf der rechten Seite der Gleichung?

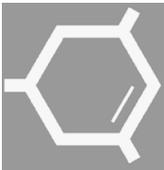
f) Berechnen Sie die maximale Goldmasse, die mit Hilfe der genannten Cyanidmasse jährlich hergestellt werden kann.

g) Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante der obigen Reaktion bei  $\text{pH} = 13,0$ , wenn Sie folgende Daten kennen:

$$E^\ominus(\text{Au}^+/\text{Au}) = +1,69 \text{ V}; E^\ominus(\text{O}_2/\text{OH}^-, \text{pH} = 13) = +0,461 \text{ V};$$

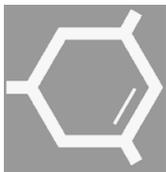
$$\beta([\text{Au}(\text{CN})_2]^-) = 1,00 \cdot 10^{37};$$

<sup>1</sup> Chemie in unserer Zeit, Heft 5 aus 2018, Seite 286



Auf der anderen Seite kann man aus einer  $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ -Lösung eine Goldschicht ( $\rho(\text{Au}) = 19,3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) auf einem Gegenstand kathodisch abscheiden, was zu einem sehr schön anzusehenden Korrosionsschutz führt. Eine Stahlkugel mit 5,00 cm Durchmesser soll so mit einer 100  $\mu\text{m}$  dicken Goldschicht überzogen (galvanisiert) werden. Man elektrolysiert dabei mit 10,0 A und einer Stromausbeute von 95,0 %.

<i>h) Welche Oxidationszahl hat Gold im Komplex <math>[\text{Au}(\text{CN})_4]^-</math>?</i>
<i>i) Berechnen Sie die Dauer der angesprochenen Elektrolyse.</i>



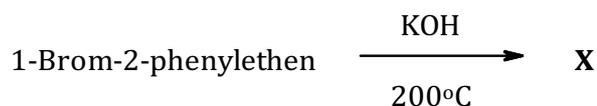
**Problem E**

**20 Punkte**

**Ein Student der organischen Chemie**

**E.1. Eine Synthese aus Großvaters Buch**

Ein Student, nennen wir ihn in Anlehnung an einen großen deutschen Chemiker des 19. Jahrhunderts Justus, findet in einem Lehrbuch für organische Synthesen seines Großvaters aus dem Jahr 1922 eine Vorschrift für die Synthese der Verbindung **X** und probiert sie sofort aus:



Er bringt 100 g 1-Brom-2-phenylethen mit 150 g heißer KOH bei 200°C zur Reaktion. Die entstehende gelbliche Flüssigkeit wird kontinuierlich abdestilliert. Nach Aufarbeitung erhält Justus 37,0 g der Verbindung **X**, welche laut Elementaranalyse 94,08 % C aber kein Heteroatom enthält.

a) Zeichnen Sie alle möglichen Konfigurationsformeln von 1-Brom-2-phenylethen und zusätzlich alle isomeren Strukturen der Verbindungen, die einen Benzenring enthalten.

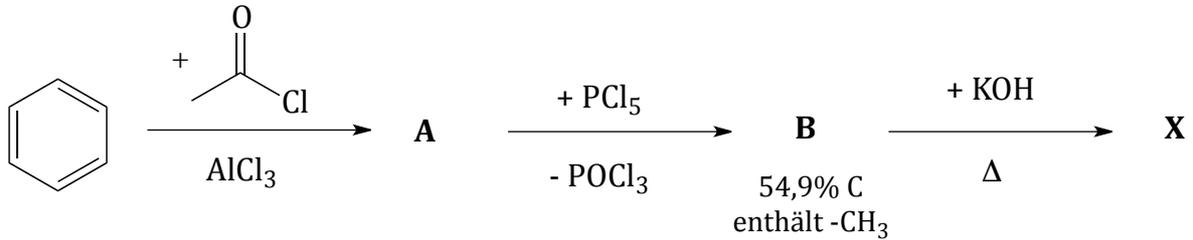
b) Berechnen Sie die Summenformel von **X**.

c) Zeichnen Sie die Strukturformel von **X** und benennen Sie die Verbindung nach IUPAC.



### E.2. Alternative Synthesewege

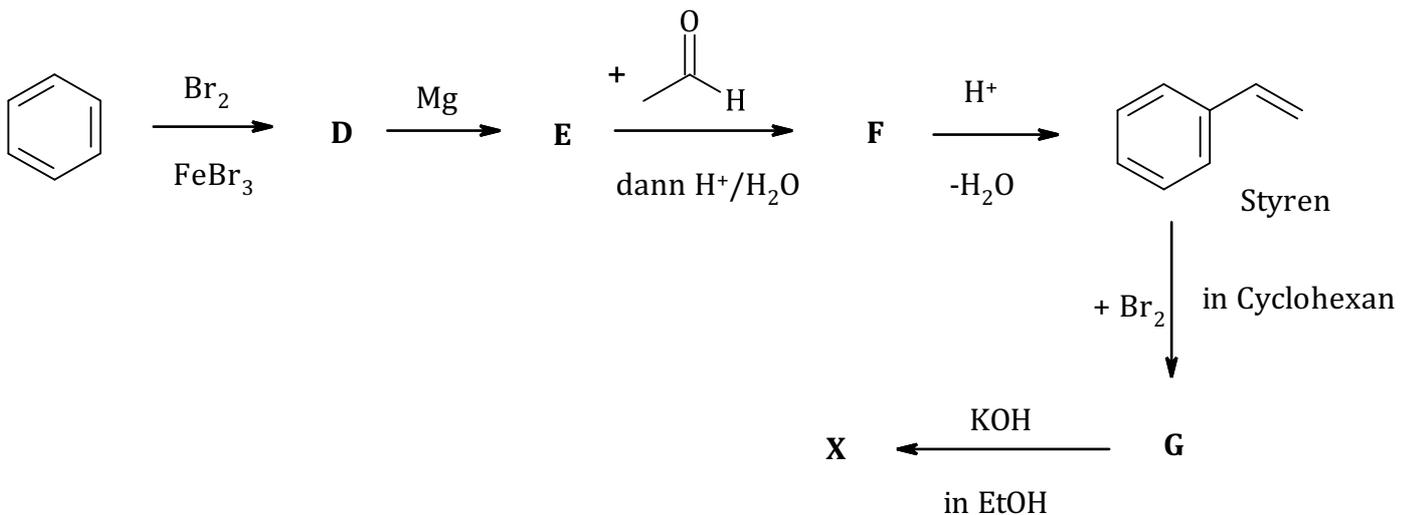
Anschließend versucht Justus eine andere Synthese für die Verbindung **X** durchzuführen:

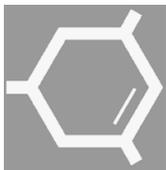


d) Zeichnen Sie Strukturformeln für die Verbindungen **A** und **B**.

<i>A</i>	<i>B</i>

Eine weitere Variante für die Synthese von **X**, ebenso ausgehend von Benzen, verläuft nach folgendem Schema:





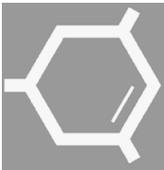
45. Österreichische Chemieolympiade  
Landeswettbewerb, Mai 2019  
**Theoretischer Teil**  
**Angabe mit Antwortkästchen**



<i>e) Zeichnen Sie Strukturformeln für die Verbindungen <b>D</b>, <b>E</b>, <b>F</b> und <b>G</b>.</i>	
<b>D</b>	<b>E</b>
<b>F</b>	<b>G</b>
<i>f) Nach welchen Mechanismen verlaufen die folgenden Reaktionen? (Abkürzung schreiben!)</i>	
<i>Benzen → <b>D</b>:</i>	<i>Styren → <b>G</b>:</i>

In einem ersten Versuch hatte Justus die Bromierung von Styren in Methanol statt Cyclohexan als Lösungsmittel durchgeführt. Statt des Produktes **G** erhielt er dabei fast ausschließlich zwei Konstitutionsisomere **H**<sub>1</sub> und **H**<sub>2</sub>, mit folgenden, für beide Verbindungen recht ähnlichen <sup>1</sup>H-NMR-Daten: 3,2 ppm, s, 3H; 3,8 ppm, m, 1H; 4,0 ppm, m, 1H; 4,7 ppm, t, 1 H; 7,4 ppm, m, 5 H. Die Elementaranalyse von **H** lautet: 50,20% C, 5,10% H, 37,15% Br, Rest O.

<i>g) Berechnen Sie die Summenformel von <b>H</b>.</i>	
<i>h) Zeichnen Sie die Strukturformeln von <b>H</b><sub>1</sub> und <b>H</b><sub>2</sub>.</i>	

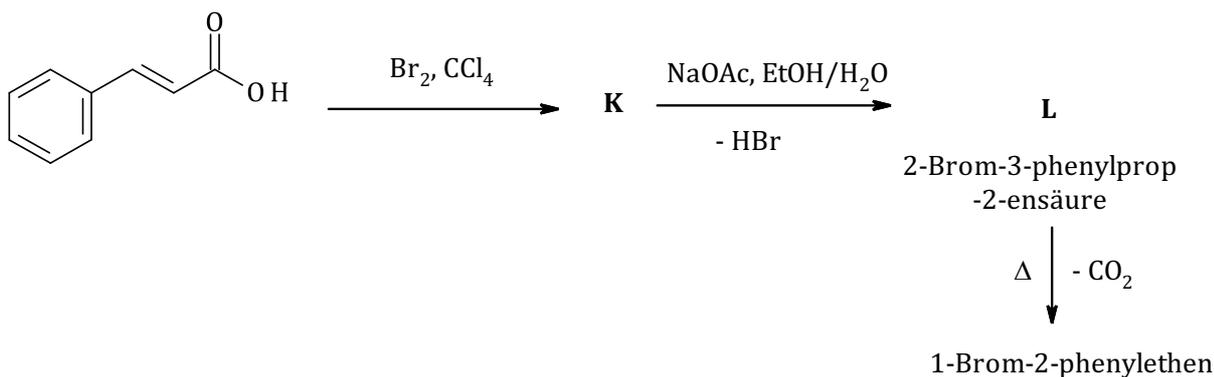


i) Zeichnen Sie die Konfigurationsformel **eines** der beiden entstehenden Isomeren (**H<sub>1</sub>** oder **H<sub>2</sub>**) in der *R*-Konfiguration.

### E.3. Als der Ausgangsstoff zur Neige geht

Justus möchte die erste Synthese (Teil E.1.) optimieren, besitzt aber kein Ausgangsmaterial mehr. Er beschließt also, 1-Brom-2-phenylethen selbst zu synthetisieren, auch weil die Verbindung sehr angenehm nach Hyazinthen riecht.

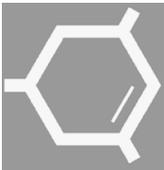
Ausgangsmaterial für seine Synthese ist die Zimtsäure (3-Phenylpropensäure).



j) Zeichnen Sie Strukturformeln der Verbindungen **K** und **L**.

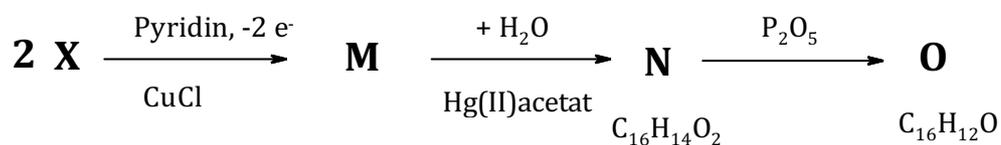
<b>K</b>	<b>L</b>
----------	----------

Als Justus feststellt, dass sein Produkt **K** ein Gemisch ist, beginnt er über die Stereochemie der Reaktion nachzudenken. Käufliche Zimtsäure ist (*E*)-3-Phenylpropensäure (trans-3-Phenylpropensäure). Wird diese mit Br<sub>2</sub> umgesetzt, sind theoretisch 4 Additionsprodukte möglich.



k) Zeichnen Sie Konfigurationsformeln der isomeren Additionsprodukte von **K** und schreiben Sie bei einer der Formeln zu den Asymmetriezentren die entsprechenden Konfigurationen mit Hilfe der Stereodescriptoren *R* und *S*.


Als Abschluss seines organisch präparativen Praktikums soll Justus die Synthese des heterozyclischen Aromaten **O** aus der Verbindung **X** durchführen:



**M** zeigt im  $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum nur Protonen im Aromatenbereich. Das  $^1\text{H-NMR}$ -Spektrum von **N** zeigt neben aromatischen Protonen ein Singulett bei  $\delta = 3,5$  ppm, das Intensitätsverhältnis von Aromaten-H zu Aliphaten-H ist 5:2.

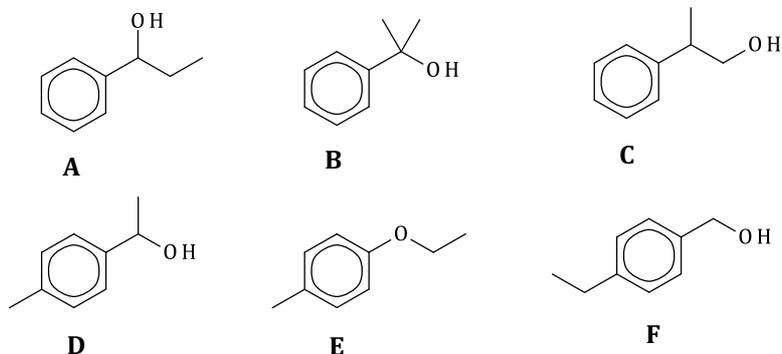
l) Zeichnen Sie Konstitutionsformeln der Verbindungen **M**, **N** und **O**.

--	--	--



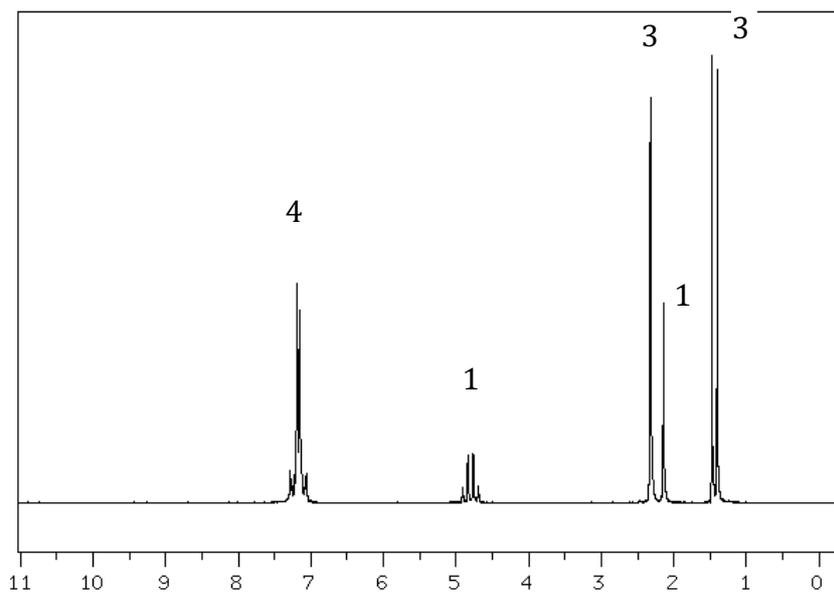
#### E.4. Im organisch-analytischen Praktikum

Justus ist inzwischen im organisch-analytischen Praktikum angekommen. Er findet sechs Flaschen vor (etikettiert **A** – **F**) und dazu sechs  $^1\text{H-NMR}$ -Spektren (**1** – **6**). Die Strukturen der Verbindungen **A** – **F** kennt er, es handelt sich um Strukturisomere der Summenformel  $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}$ . Die Spektren sind abgebildet ( $x$ -Achse:  $\delta$  in ppm)

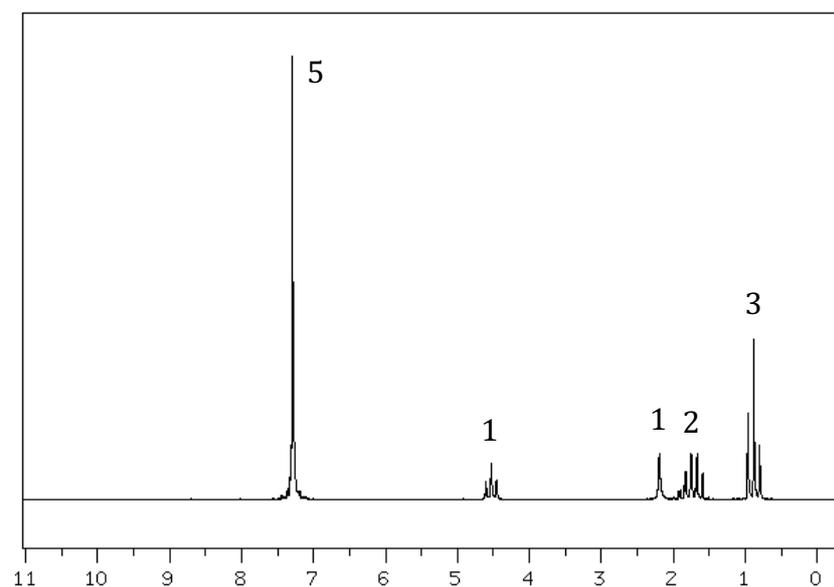


*m) Helfen Sie Justus, indem Sie auf die punktierten Linien die richtigen Buchstaben schreiben.*

Spektrum **1** gehört zur  
Verbindung: .....

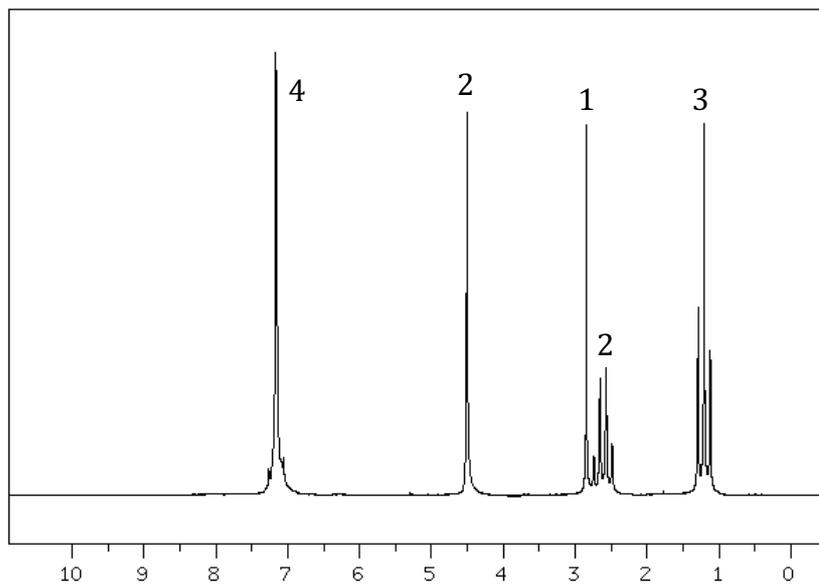


Spektrum **2** gehört zur  
Verbindung: .....

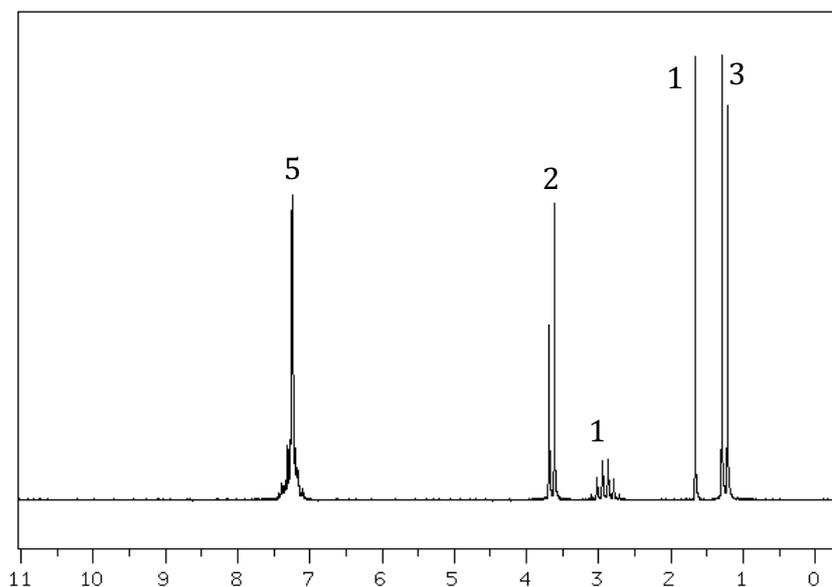




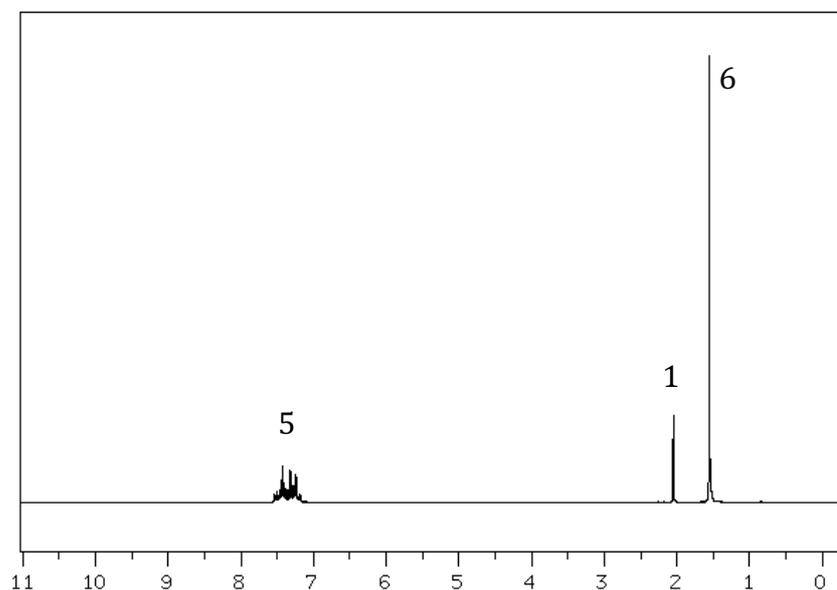
Spektrum 3 gehört zur  
Verbindung: .....



Spektrum 4 gehört zur  
Verbindung: .....



Spektrum 5 gehört zur  
Verbindung: .....

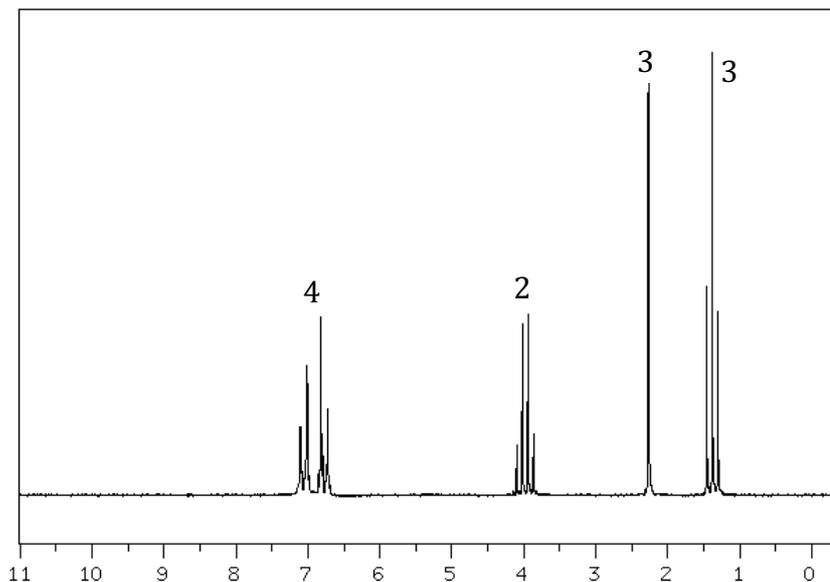




45. Österreichische Chemieolympiade  
Landeswettbewerb, Mai 2019  
**Theoretischer Teil**  
**Angabe mit Antwortkästchen**



Spektrum **6** gehört zur  
Verbindung: .....



**Wichtige Konstanten und Formeln, die Sie brauchen können:**

$F = 96485 \text{ A} \cdot \text{s} \cdot \text{mol}^{-1}$ $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3$	$T(\text{Standard}) = 298,15 \text{ K}$ $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ $p(\text{Standard}) = 1 \text{ bar}$
---	--

Gesetzmäßigkeit	Formel			
Stoffmenge, Stoffmengenkonzentration, Stoffmengenanteil, Massendichte	$n = \frac{m}{M}$	$c = \frac{n}{V}$	$x_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$	$\rho = \frac{m}{V}$
Doppelbindungsäquivalente	$DBE = \frac{2 \cdot N_C + N_N - N_H - N_X + 2}{2}$			
Gleichgewichtskonstante für Partialdrücke für $aA(s) + bB(g) \rightleftharpoons xX(g) + yY(g)$	$K_p = \frac{p^x(X) \cdot p^y(Y)}{p^b(B)}$			
Zustandsgleichung idealer Gase	$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$			
Kalorische Reaktionsdaten	$\Delta_r X = \sum X_{\text{Ende}} - \sum X_{\text{Anfang}}$			
Freie Standardreaktionsenthalpie	$\Delta_r G^\ominus = \Delta_r H^\ominus - T \cdot \Delta_r S^\ominus$			
Freie Standardreaktionsenthalpie- Gasgleichgewicht bzw. EMK	$\Delta_r G^\ominus = -RT \cdot \ln K_p$		$\Delta_r G^\ominus = -zF \cdot \Delta E^\ominus$	
Spannung galvanischer Elemente	$\Delta E = E_{\text{red}} - E_{\text{ox}}$			
Gesetz von Faraday	$m = \frac{I \cdot t \cdot M \cdot \eta}{z \cdot F}$			
Kugelvolumen	$V = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3$			

Struktur	$\delta(\text{ppm})$	Struktur	$\delta(\text{ppm})$
$-\text{CH}_n-$	1 - 2	R-CHO	9,5 - 10,5
Ar- $\text{CH}_n-$	2 - 3,5	R-CO- $\text{CH}_3$	2,0 - 2,6
$\text{CH}_3\text{O}-$	$\approx 3,5$	Aromaten-H	6 - 9

# Periodensystem der Elemente



Österreichische  
Chemie-Olympiade

1,01 <b>1H</b> Wasserstoff EN 2.2																	4,00 <b>2He</b> Helium	
6,94 <b>3Li</b> Lithium EN 1.0	9,01 <b>4Be</b> Beryllium EN 1.5															19,00 <b>9F</b> Fluor EN 3.5	20,18 <b>10Ne</b> Neon	
22,99 <b>11Na</b> Natrium EN 1.0	24,31 <b>12Mg</b> Magnesium EN 1.2															32,07 <b>16S</b> Schwefel EN 2.4	35,45 <b>17Cl</b> Chlor EN 2.8	39,95 <b>18Ar</b> Argon
39,10 <b>19K</b> Kalium EN 0.9	40,08 <b>20Ca</b> Calcium EN 1.0	44,96 <b>21Sc</b> Scandium EN 1.2	47,87 <b>22Ti</b> Titan EN 1.3	50,94 <b>23V</b> Vanadium EN 1.5	52,00 <b>24Cr</b> Chrom EN 1.6	54,94 <b>25Mn</b> Mangan EN 1.6	55,85 <b>26Fe</b> Eisen EN 1.6	58,93 <b>27Co</b> Cobalt EN 1.7	58,69 <b>28Ni</b> Nickel EN 1.8	63,55 <b>29Cu</b> Kupfer EN 1.8	65,41 <b>30Zn</b> Zink EN 1.7	69,72 <b>31Ga</b> Gallium EN 1.8	72,64 <b>32Ge</b> Germanium EN 2.0	74,92 <b>33As</b> Arsen EN 2.2	78,96 <b>34Se</b> Selen EN 2.5	79,90 <b>35Br</b> Brom EN 2.7	83,80 <b>36Kr</b> Krypton	
85,47 <b>37Rb</b> Rubidium EN 0.9	87,62 <b>38Sr</b> Strontium EN 1.0	88,91 <b>39Y</b> Yttrium EN 1.1	91,22 <b>40Zr</b> Zirkonium EN 1.2	92,91 <b>41Nb</b> Niobium EN 1.2	95,94 <b>42Mo</b> Molybdän EN 1.3	[97,91] <b>43Tc</b> Technetium EN 1.4	101,07 <b>44Ru</b> Ruthenium EN 1.4	102,91 <b>45Rh</b> Rhodium EN 1.5	106,42 <b>46Pd</b> Palladium EN 1.4	107,87 <b>47Ag</b> Silber EN 1.4	112,41 <b>48Cd</b> Cadmium EN 1.5	114,82 <b>49In</b> Indium EN 1.5	118,71 <b>50Sn</b> Zinn EN 1.7	121,76 <b>51Sb</b> Antimon EN 1.8	127,60 <b>52Te</b> Tellur EN 2.0	126,90 <b>53I</b> Iod EN 2.2	131,29 <b>54Xe</b> Xenon	
132,91 <b>55Cs</b> Caesium EN 0.9	137,33 <b>56Ba</b> Barium EN 1.0	174,97 <b>71Lu</b> Lutetium EN 1.1	178,49 <b>72Hf</b> Hafnium EN 1.2	180,95 <b>73Ta</b> Tantal EN 1.3	183,84 <b>74W</b> Wolfram EN 1.4	186,21 <b>75Re</b> Rhenium EN 1.5	190,23 <b>76Os</b> Osmium EN 1.5	192,22 <b>77Ir</b> Iridium EN 1.6	195,08 <b>78Pt</b> Platin EN 1.4	196,97 <b>79Au</b> Gold EN 1.4	200,59 <b>80Hg</b> Quecksilber EN 1.5	204,38 <b>81Tl</b> Thallium EN 1.4	207,2 <b>82Pb</b> Blei EN 1.6	208,98 <b>83Bi</b> Bismut EN 1.7	[208,98] <b>84Po</b> Polonium EN 1.8	[209,99] <b>85At</b> Astat EN 2.0	[222,02] <b>86Rn</b> Radon	
[223,02] <b>87Fr</b> Francium EN 0.9	[226,03] <b>88Ra</b> Radium EN 1.0	[262,11] <b>103Lr</b> Lawrencium	[261,11] <b>104Rf</b> Rutherfordium	[262,11] <b>105Db</b> Dubnium	[266,12] <b>106Sg</b> Seaborgium	[264,12] <b>107Bh</b> Bohrium	[277] <b>108Hs</b> Hassium	[268,14] <b>109Mt</b> Meitnerium	[271] <b>110Ds</b> Darmstadtium	[272] <b>111Rg</b> Roentgenium	[277] <b>112Cn</b> Copernicium	[287] <b>113Nh</b> Nihonium	[289] <b>114Fl</b> Flerovium	[288] <b>115Mc</b> Moscovium	[289] <b>116Lv</b> Livermorium	[293] <b>117Ts</b> Tennessine	[294] <b>118Og</b> Oganesson	

138,91 <b>57La</b> Lanthan EN 1.1	140,12 <b>58Ce</b> Cer EN 1.1	140,91 <b>59Pr</b> Praseodym EN 1.1	144,24 <b>60Nd</b> Neodym EN 1.1	150,36 <b>62Sm</b> Samarium EN 1.1	151,96 <b>63Eu</b> Europium EN 1.0	157,25 <b>64Gd</b> Gadolinium EN 1.1	158,93 <b>65Tb</b> Terbium EN 1.1	162,50 <b>66Dy</b> Dysprosium EN 1.1	164,93 <b>67Ho</b> Holmium EN 1.1	167,26 <b>68Er</b> Erbium EN 1.1	168,93 <b>69Tm</b> Thulium EN 1.1	173,04 <b>70Yb</b> Ytterbium EN 1.1
[227,03] <b>89Ac</b> Actinium EN 1.0	232,04 <b>90Th</b> Thorium EN 1.1	231,04 <b>91Pa</b> Protactinium EN 1.1	238,03 <b>92U</b> Uran EN 1.2	[244,06] <b>94Pu</b> Plutonium EN ~ 1,2	[243,06] <b>95Am</b> Americium EN ~ 1,2	[247,07] <b>96Cm</b> Curium EN ~ 1,2	[247,07] <b>97Bk</b> Berkelium EN ~ 1,2	[251,08] <b>98Cf</b> Californium EN ~ 1,2	[252,08] <b>99Es</b> Einsteinium EN ~ 1,2	[257,10] <b>100Fm</b> Fermium EN ~ 1,2	[258,10] <b>101Md</b> Mendelevium EN ~ 1,2	[259,10] <b>102No</b> Nobelium