

Vorgehen zur Bewertung:

1. Jeder Schülerbearbeitung muss der unterschriebene Anmeldebogen beigelegt werden.
2. Die Korrektur erfolgt anhand der Musterlösung (aktuelle Version vom 16.09.2021)
3. Die erreichten Punkte werden durch die betreuende Lehrkraft im Portal eingetragen (Achtung: Bitte den Juniorbonus nicht vergessen!)
4. Beim Abschluss der Punkteingabe wird im Portal ein Ausdruck erzeugt. Dieser ist von der betreuenden Lehrkraft zu unterschreiben (auch digital möglich, wenn der Ausdruck als PDF erfolgt).
5. Der unterschriebene Ausdruck wird zur/zum zuständigen Landesbeauftragten gesandt (digital oder postalisch, bitte mit der/dem Landesbeauftragten klären, welcher Weg bevorzugt ist).
6. Die Ausarbeitungen der SuS verbleiben bei den betreuenden Lehrkräften.
7. Das Eintragen der erreichten Punkte ist im Portal noch bis einschließlich 25.09.2021 möglich.

Musterlösung und Bewertungsschlüssel

Aufgabe 1: Recycling seltener Erden

33 Punkte

Aufgabe 1 a) Es fehlen: Praseodym, Gadolinium, Thulium

[2,0 P]

Die Lösungszahl ist $59+64+69 = 192$

[2,0 P]

Für die korrekte Auflistung der fehlenden Elemente werden maximal 2,0 P vergeben. Bei einem Fehler (ein Element zu viel oder zu wenig in der Liste), wird noch 1,0 P vergeben. Bei zwei Fehlern 0,5 P. Bei drei oder mehr Fehlern wird die Auflistung der fehlenden Elemente mit 0 P. bewertet.

Für die Ermittlung der aus der eigenen Auflistung hervorgehenden folgerichtigen Lösungszahl werden 2,0 P. vergeben.

Vorhanden sind: Scandium, Yttrium, Lanthan, Cer, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Ytterbium, Lutetium (s. Lösungsgitter).

L	P	P	W	S	A	M	A	R	I	U	M
K	U	J	R	L	E	R	B	I	U	M	R
M	F	T	M	O	A	R	U	S	C	M	E
Z	U	M	E	U	M	N	R	K	E	G	U
H	E	I	U	T	I	E	T	Q	R	D	R
O	L	H	D	I	I	B	T	H	J	J	O
G	J	O	W	N	R	U	R	H	A	H	P
U	W	L	W	D	A	T	M	E	I	N	I
J	X	M	C	D	N	C	T	Z	T	U	U
M	U	I	S	O	R	P	S	Y	D	T	M
Z	O	U	H	J	G	H	X	W	D	R	Y
F	S	M	N	E	O	D	Y	M	A	K	H

Aufgabe 1 b) Seltene Erden sind sehr reaktionsfreudig und kommen deshalb nicht elementar, sondern in Form ihrer Verbindungen, meist in Gemengen, in der Natur vor. Beispielsweise sind seltene Erden in den Mineralien Allanit, Monazit oder Bastnäsit zu finden. Die mit Abstand häufigsten Element der seltenen Erden in der Erdkruste sind Cer (66 ppm), Neodym (42 ppm) und Yttrium (33 ppm) und Scandium (22 ppm), dann folgen die restlichen Seltenerdmetalle mit 7,5 bis 0,5 ppm. Platin (0,005 ppm) und Gold (0,004 ppm) sind also deutlich seltener. Die Elemente werden Seltenerdmetalle genannt, da früher fälschlicherweise angenommen wurde, dass sie sehr selten sind. Diese Falschannahme beruhte darauf, dass die Gewinnung als Reinstoff sehr aufwendig ist. Außerdem wurden sie fast ausschließlich aus Metalloxiden gewonnen, welche damals als „Erden“ bezeichnet wurde.

Es können maximal 5,0 P gemäß folgender Abstufung vergeben werden:

Vergleichende Angabe des Vorkommens in der Erdkruste (mindestens Au, Pt, min. ein repräsentativer Wert für die SE) [2,0 P]
 SE sind nicht selten in dem Sinne, dass sie nicht häufig vorkommen. [1,0 P]
 Der Namensbestandteil „selten“ beruht darauf, dass die SE als selten galten, da sie schwer zu gewinnen waren. [2,0 P]

Aufgabe 1 c)

Das bei jedem Element der Seltenerdmetalle neu hinzukommende Elektron besetzt ein 4f-Orbital. [1,0 P]
 Diese liegen so weit im Inneren der Atome, dass sie kaum Einfluss auf die chemischen Eigenschaften der Elemente nehmen. [1,0 P]

Aufgabe 1 d)

Name	Hauptquantenzahl m	Nebenquantenzahl l = 3	Magnetquantenzahl m							
4s	4	0	0							
4p	4	1	+1, 0, -1							
4d	4	2	+2, +1, 0, -1, -2							
4f	4	3	+3, +2, +1, 0, -1, -2, -3							
Besetzung der 4f-Orbitale für Gd ³⁺ Elektronenkonfiguration Gd ³⁺ [Xe] 4f ⁷			<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">↑</td> <td style="text-align: center;">↑</td> <td style="text-align: center;">↑</td> <td style="text-align: center;">↑</td> <td style="text-align: center;">↑</td> <td style="text-align: center;">↑</td> <td style="text-align: center;">↑</td> </tr> </table>	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑				

Alle Quantenzahlen korrekt, je Zeile 0,5 P. Insgesamt also [2,0 P]
 Besetzung der 4f-Orbitale [1,0 P]
 Elektronenkonfiguration Gd³⁺ [1,0 P]

Aufgabe 1 e)

Der starke Magnetismus rührt von der hohen Anzahl (7) ungepaarter 4f-Elektronen. [2,0 P]

Hintergrund (nicht erwartete Antwort): Die ungepaarten f-Elektronen ergeben ein hohes Spinmoment. Die Spinmomente addieren sich vektoriell mit den magnetischen Momenten des Bahndrehimpulses nach den Auswahlregeln von Hund zum Gesamtdrehimpulsmoment. Dadurch entstehen große atomare magnetische Momente.

Sollte eine falsche, aber dennoch plausible Begründung gegeben sein, können bis zu 1,0 Punkte gegeben werden.

Aufgabe 1 f) Gd₂(C₂O₄)₃

[1,0 P]

Jede Lösung der Form SE₂(C₂O₄)₃ ist als korrekt zu werten. In dieser Aufgabe können keine Teilpunkte erreicht werden.

Aufgabe 1 g) pH = 1 bedeutet c_{H+} = 0,1 mol·L⁻¹

Bei starken Säuren gilt c_{HA} = c_{H+}, d.h. die konzentrierte Salzsäure muss durch Neutralisation von 10 mol·L⁻¹ auf 0,1 mol·L⁻¹ gebracht werden. Dazu müssen 99 % der Salzsäure neutralisiert werden.

Alternative Lösung (ohne Rechnung):

Da zwei pH-Werte um den Faktor zehn auseinanderliegen und $10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ nominell $\text{pH} = -1$ beträgt, sinkt die Konzentration um den Faktor 100. Es muss also fast alle Säure neutralisiert werden.

Rechenweg bzw. textliche Begründung [2,0 P]
 Folgerichtiges Ergebnis [1,0 P]

Aufgabe 1 h)

$\text{NH}_4\text{Cl (s)} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \text{ (g)} + \text{HCl (g)}$ [1,0 P]

$K = \frac{c_{\text{NH}_3} \cdot c_{\text{HCl}}}{c_{\text{NH}_4\text{Cl}}}$ [1,0 P]

Bei Druckerhöhung verschiebt sich das Gleichgewicht auf die Eduktseite, da dort eine geringere Stoffmenge an Gasen (nur der Feststoff) vorhanden ist. [1,0 P]

Ist die Reaktionsgleichung und somit auch das MWG andersherum aufgestellt, wird dies als folgerichtig erachtet.

Aufgabe 1 i) Die Reaktion ist endotherm. Die Zersetzungstemperatur lässt sich daher am Minimum in der DTA, also der höchsten Energieaufnahme je Masse, erkennen bzw. als Ende des Massenverlusts in der TG.

Zersetzungstemperatur korrekt eingezeichnet (ca. $350 \text{ }^\circ\text{C}$) [1,0 P]
 Begründung [1,0 P]

Aufgabe 1 j) In der thermogravimetrischen Untersuchung ist eine Stufe zu sehen, die einem Masseverlust von 100 % entspricht. Diese Stufe beginnt bei ca. $220 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Zersetzung beginnt also nicht vor dem Erreichen dieser Temperatur. Es sind daher mindestens $220 \text{ }^\circ\text{C}$ für die Feststoffchlorierung zu wählen.

Temperatur (Werte zwischen 210 und $260 \text{ }^\circ\text{C}$ werden als korrekt angesehen) [1,0 P]
 Begründung [2,0 P]

Aufgabe 1 k) Exemplarische Berechnung der Gleichgewichtskonstanten für die Zersetzung von Ammoniumchlorid bei $300 \text{ }^\circ\text{C}$:

$\Delta G_r^0 = \Delta H_r^0 - T \cdot \Delta S_r^0$ [1,0 P]

$K = e^{-\frac{\Delta G_r^0}{R \cdot T}}$ [1,0 P]

$T = 300 \text{ }^\circ\text{C} = 573,15 \text{ K}$

$\Delta G_r^0 = \Delta H_r^0 - T \cdot \Delta S_r^0 = 176010 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1} - 573,15 \text{ K} \cdot 284,76 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1} = 1,280 \cdot 10^4 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ [1,0 P]

$K = e^{-\frac{\Delta G_r^0}{R \cdot T}} = e^{-\left(\frac{1,280 \cdot 10^4 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}}{8,3145 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1} \cdot 573,15 \text{ K}}\right)} = \underline{\underline{6,816 \cdot 10^{-2}}}$ [1,0 P]

Folgerichtige Berechnung aus der Antwort in Teilaufgabe i) ergibt die volle Punktzahl.

Beispielwerte:

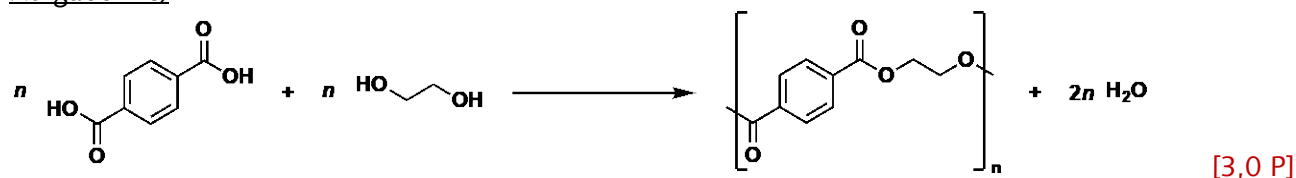
T / °C	T / K	$\Delta_r G^\circ / \text{J mol}^{-1}$	K
200,00	473,15	41276	2,7756E-05
210,00	483,15	38428	7,0069E-05
220,00	493,15	35581	1,7036E-04
230,00	503,15	32733	3,9985E-04
240,00	513,15	29885	9,0777E-04
250,00	523,15	27038	1,9973E-03
260,00	533,15	24190	4,2663E-03
270,00	543,15	21343	8,8621E-03
280,00	553,15	18495	1,7928E-02
290,00	563,15	15647	3,5373E-02
300,00	573,15	12800	6,8156E-02
310,00	583,15	9952	1,2840E-01
320,00	593,15	7105	2,3679E-01
330,00	603,15	4257	4,2790E-01
340,00	613,15	1409	7,5846E-01
350,00	623,15	-1438	1,3199E+00
360,00	633,15	-4286	2,2572E+00
370,00	643,15	-7133	3,7961E+00
380,00	653,15	-9981	6,2834E+00
390,00	663,15	-12829	1,0244E+01

Aufgabe 2: Nachwachsende PET-Flaschen?
33 Punkte
Aufgabe 2 a) z. B.:

- Zusatz zu neuem PET zur Herstellung neuer Getränkeflaschen
- Herstellung von Textilfasern (Polyester-Textilfasern)
- Herstellung von Folien
- Herstellung von Flaschen für Reinigungsmittel, Kosmetikprodukte etc.
- ...

 Je sachlich sinnvoller Anwendung 1,0 Punkte, insgesamt bis zu [3,0 P]
Aufgabe 2 b) $(C_{10}H_8O_4)_n + 10 n O_2 \rightarrow 10 n CO_2 + 4 n H_2O$ [3,0 P]

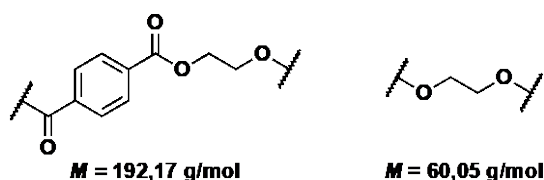
 Stöchiometrisch korrekte Reaktionsgleichung, jedoch ohne Berücksichtigung von n : 2,0 Punkte.

Aufgabe 2 c)

 Korrekte Reaktionsgleichung, jedoch ohne Berücksichtigung von n : 2,0 Punkte. Strukturformeln, die nicht vollständig in Skelettschreibweise geschrieben sind (z. B. die Ethylenglykol-Einheit als O-(CH₂)₂-O, wie bei Wikipedia), sind nicht als korrekt zu bewerten.

Aufgabe 2 d)

 Polymerisationsart: Kondensation oder Polykondensation [1,0 P]

 Funktionelle Gruppe: Ester [1,0 P]
Aufgabe 2 e) Die sich wiederholende Einheit im PET besitzt eine Molare Masse von 192,171 g·mol⁻¹. [1,0 P]

 Aus dem Ethylenglykol stammt dabei die (OCH₂CH₂O)-Einheit mit einer molaren Masse von 60,05 g·mol⁻¹. [2,0 P]


$$w = \frac{60,05 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{192,17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 31,25 \%$$

[2,0 P]

 Die Bezeichnung als *Bio-PET 30* ist somit sinnvoll, der biologisch gewonnene PET-Anteil liegt sogar geringfügig höher. [1,0 P]

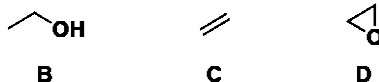
 Hinweis I: Bei der Veresterung (Polykondensation) werden beide Sauerstoffatome des Alkohols in das Produkt überführt. Andere biobasierte Einheiten werden als Folgefehler bewertet:
 (OCH₂CH₂)-Einheit: $M = 44,05 \text{ g/mol}$, $w = 22,92 \%$

(CH₂CH₂)-Einheit: $M = 28,05 \text{ g/mol}$, $w = 14,60 \%$

Hinweis II: Eine alternative Berechnung aus den Massen der Edukte, ähnlich folgender Gleichung, wird mit Teilpunkten bewertet (maximal 5 Punkte insgesamt).

$$w = \frac{62,07 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{166,13 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} + 62,07 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 27,2\%$$

Aufgabe 2 f)



1,0 Punkte je Verbindung

[3,0 P]

Aufgabe 2 g) Mögliche Antworten



1,0 Punkte je Verbindung (maximal 3 Verbindungen)

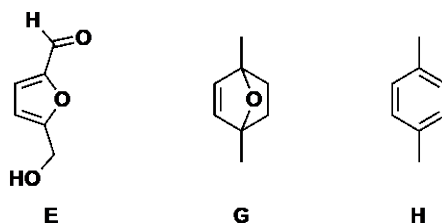
[3,0 P]

0,5 Punkte je korrekter Oxidationszahl

[3,0 P]

Hinweis: Nur die obigen sechs Moleküle kommen als korrekte Lösungen infrage. Weitere Verbindungen, die zwar die Summenformel C₂H₂₋₄O₂₋₄ aufweisen, jedoch nicht durch Reduktion in Ethylenglykol überführt werden können (z. B. Essigsäure), sind nicht als richtig zu bewerten. Für eine korrekte Zuordnung der Oxidationszahlen können dann jedoch Folgepunkte vergeben werden.

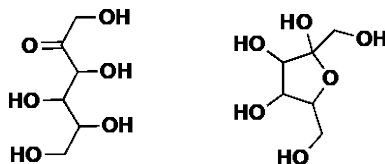
Aufgabe 2 h)



1,0 Punkte je Verbindung

[3,0 P]

Aufgabe 2 i)



1,0 Punkte je Verbindung

[2,0 P]

Aufgabe 2 j) Die Herstellung von Terephthalsäure aus Zuckern erfordert mehrere Schritte (Eliminierung zu Hydroxymethylfurfural, Reduktion, Diels-Alder-Reaktion mit Ethen, Wasser-Eliminierung) zur Synthese von *p*-Xylol, welches als Intermediat für die Terephthalsäure-Gewinnung benötigt wird. Dieses kann aktuell direkt aus Erdöl-Komponenten gewonnen werden. Dies ist besonders vor dem Hintergrund der Kosten eines mehrstufigen Verfahrens (zusätzliche Reagenzien, Energiebedarf, Aufreinigungsschritte ...) vorteilhaft.

Mehrere Schritte nötig

[1,0 P]

Gewinnung eines Intermediats aus Erdöl-Komponenten derzeit wirtschaftlicher

[1,0 P]

Aufgabe 3: Von Windkraft zu Wasserstoff
33 Punkte
Aufgabe 3 a) Folgende Punkte zeichnen ein ideales Gas aus:

- Die Teilchen eines idealen Gases besitzen kein Volumen. [1,0 P]
- Die Teilchen üben keine Anziehungs- oder Abstoßungskräfte aufeinander aus. [1,0 P]
- Wechselwirkungen erfolgen lediglich durch elastische Stöße untereinander oder mit der Wand des Gefäßes. [1,0 P]

Aufgabe 3 b) $2 \text{ H}_2\text{O (l)} \rightleftharpoons 2 \text{ H}_2 \text{ (g)} + \text{O}_2 \text{ (g)}$ [1,0 P]
Aufgabe 3 c)

$$pV = nRT$$

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{100000 \text{ Pa} \cdot 0,001 \text{ m}^3}{8,3145 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 298,15 \text{ K}} = 0,04 \text{ mol}$$

Berechnung der Stoffmenge insgesamt [1,0 P]

Aus der Stoffmenge lässt sich nun mittels des Faraday'schen Gesetzes die zur Elektrolyse notwendige elektrische Ladung berechnen. Die Variable z beträgt im konkreten Fall $z = 2$, da zur Bildung eines Wasserstoffmoleküls zwei Elektronen übertragen werden müssen.

$$Q = znF = 2 \cdot 0,04 \text{ mol} \cdot 96485 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1} = 7719 \text{ C}$$

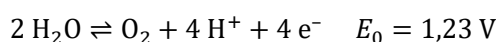
Rechenweg (Formel) [1,0 P]
Ergebnis [1,0 P]

Mit dem Zusammenhang $Q = I \cdot t$ lässt sich nun die für die Elektrolyse notwendige Zeit berechnen.

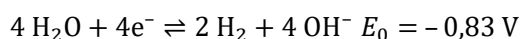
$$t = \frac{Q}{I} = \frac{7719 \text{ C}}{16 \text{ A}} = 482 \text{ s} \approx 8 \text{ min}$$

Rechenweg (Formel) [1,0 P]
folgerichtiges Ergebnis [1,0 P]

Aufgabe 3 d) Bei einer Elektrolyse sollen eine Reduktion und eine Oxidation räumlich getrennt ablaufen. Dafür ist es erforderlich, dass an einer Stelle (der Kathode) immer die Reduktion durch Zuführung von Elektronen und an einer anderen Stelle (der Anode) immer die Oxidation durch Entzug der Ladungsträger stattfindet. Es werden folglich an der Kathode der Minuspol der Stromquelle und an der Anode der Pluspol angelegt. Dies ist nur mit einer Gleichspannungsquelle möglich, da sich bei Wechselspannung die Polarität ständig ändert.

Notwendigkeit der räumlichen Trennung von Reduktion und Oxidation [0,5 P]
Trennung nur möglich, wenn feste Zuweisung von Anode und Kathode [0,5 P]
Aufgabe 3 e) Das Phänomen wird als Überspannung bezeichnet. [1,0 P]
Aufgabe 3 f) Die Standardpotenziale betragen für die Anodenreaktion


und für die Kathodenreaktion



Siehe Errata

jeweils für den pH-Wert 0.

Korrekte Reaktionsgleichung Anodenreaktion [1,0 P]
 Korrekte Reaktionsgleichung Kathodenreaktion [1,0 P]
 Sind Anoden- und Kathodenreaktion vertauscht, insgesamt 1,0 P.

Aus der Differenz des Kathoden- und des Anodenpotentials ergibt sich die für die Elektrolyse notwendige anzulegende Zellspannung von $E_0(\text{Kath.}) - E_0(\text{An.}) = -2,06 \text{ V}$. [1,0 P]

Das Vorzeichen bedeutet hierbei, dass die Reaktion unfreiwillig abläuft. Die Spannung tritt also nicht auf, sondern muss angelegt werden. (nicht gefordert). Sollten zuvor Anoden- und Kathodenreaktion vertauscht sein, wird das folgerichtige Ergebnis als korrekt gewertet.

Aufgabe 3 g) Für die Verbrennung von reinem Methan berechnet sich die emittierte Menge Kohlenstoffdioxid gemäß der Reaktionsgleichung der Verbrennung.



Aus einem Äquivalent Methan entsteht bei der Verbrennung folglich ein Äquivalent Kohlenstoffdioxid. Der stoffmengenbezogene Brennwert berechnet sich aus dem massenbezogenen Brennwert und der molaren Masse von Methan.

$$H_{\text{Meth.,Stoffm.}} = H_{\text{Methan}} \cdot M_{\text{Methan}} = 55 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 880 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad [1,0 \text{ P}]$$

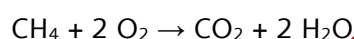
Zur Erzeugung von 1 kWh = 3600 kJ Wärmeenergie muss folglich

$$n_{\text{Methan}} = \frac{3600 \text{ kJ}}{880 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}} = 4,09 \text{ mol} \quad [1,0 \text{ P}]$$

Methangas verbrannt werden, woraus die gleiche Menge Kohlenstoffdioxid entsteht. Mit der Molaren Masse von Kohlenstoffdioxid errechnet sich daraus die freigesetzte Masse an CO_2 .

$$m_{\text{Kohlenstoffdioxid}} = 4,09 \text{ mol} \cdot 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 180 \text{ g} \quad [1,0 \text{ P}]$$

Für den zweiten Fall, dass das über das Erdgasnetz transportierte Gas zu 10 % aus Wasserstoff und zu 90 % aus Methangas besteht, finden bei der Verbrennung folgende Prozesse statt:



Hier wird nur bei der ersten Reaktion, der Verbrennung von Methan, auch Kohlenstoffdioxid freigesetzt. Der stoffmengenbezogene Brennwert von Wasserstoff errechnet sich analog über

$$H_{\text{Wasserst.,Stoffm.}} = H_{\text{Wasserst.}} \cdot M_{\text{Wasserst.}} = 140 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 280 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad [1,0 \text{ P}]$$

und damit der Brennwert des Gasgemisches zu

$$H_{\text{Gemisch}} = 0,9 \cdot H_{\text{Meth.,Stoffm.}} + 0,1 \cdot H_{\text{Wasserst.,Stoffm.}} = 820 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}. \quad [1,0 \text{ P}]$$

Analog zur obigen Rechnung lässt sich der Verbrauch an Gasgemisch zu

$$n_{\text{Gemisch}} = \frac{3600 \text{ kJ}}{820 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}} = 4,39 \text{ mol} \quad [1,0 \text{ P}]$$

berechnen. Von diesem sind 90 % Methangas, womit sich die Kohlenstoffdioxid-Emissionen zu

$$m_{\text{Kohlenstoffdioxid}} = 4,39 \text{ mol} \cdot 0,9 \cdot 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 174 \text{ g} \quad [1,0 \text{ P}]$$

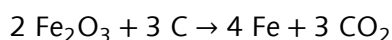
berechnen. Die prozentuale Einsparung beträgt folglich

$$\frac{180 \text{ g} - 174 \text{ g}}{180 \text{ g}} \cdot 100 \% = 3,3 \%$$

[1,0 P]

Aufgabe 3 h) Der Prozess heißt Hochofenprozess.

[1,0 P]



[1,0 P]

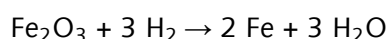
Das problematische Edukt ist Koks, welches im Verlauf des Prozesses zu Kohlenstoffdioxid umgesetzt wird.

[0,5 P]

Es wird gewöhnlich aus (Stein-)Kohle hergestellt.

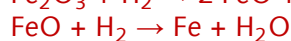
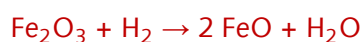
[0,5 P]

Aufgabe 3 i) Die bei der Stahlgewinnung mit Wasserstoff ablaufende Redoxreaktion lautet:



[1,0 P]

Alternative Formulierung in zwei Gleichungen zu je 0,5 P:



Das entstehende Roheisenprodukt ist ein Feststoff, da die Temperaturen für ein Aufschmelzen nicht hoch genug sind. Es enthält weiterhin größere Mengen an Verunreinigungen, da diese nicht wie beim Hochofenprozess eingeschlackt werden.

[1,0 P]

Aufgabe 3 j) Die Reaktionsenthalpie der nach der obigen Reaktionsgleichung ablaufende Roheisengewinnung berechnet sich als Differenz der Summen der mit den stöchiometrischen Faktoren multiplizierten Bildungsenthalpien der Produkte und der Edukte. Folglich:

$$\Delta H_R = 3 \cdot \Delta H_f^0(\text{H}_2\text{O}) + 2 \cdot \Delta H_f^0(\text{Fe}) - 3 \cdot \Delta H_f^0(\text{H}_2) - \Delta H_f^0(\text{Fe}_2\text{O}_3)$$

[1,0 P]

Da elementares Eisen und elementarer Wasserstoff eine Standardbildungsenthalpie von $\Delta H_f^0 = 0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ haben, errechnet sich die Reaktionsenthalpie zu:

$$\Delta H_R = \left(3 \cdot (-242 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) \right) + \left(2 \cdot 0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \right) - \left(3 \cdot 0 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \right) - (-1118 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}) = 392 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \quad [1,0 \text{ P}]$$

1 t (1000000 g) Roheisen entsprechen nun einer Stoffmenge an Roheisen von

$$n_{\text{Fe}} = \frac{1000000 \text{ g}}{55,85 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 17905 \text{ mol}$$

Folgerichtiges Ergebnis

[1,0 P]

Da sich die oben errechnete Reaktionsenthalpie auf 2 mol Eisen bezieht, muss die entsprechende Stoffmenge noch halbiert werden. Zu der Herstellung wird eine Energiemenge von

$$E = 8952,5 \text{ mol} \cdot 392 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} = 3,509 \text{ MJ benötigt.}$$

Folgerichtiges Ergebnis

[1,0 P]

Siehe Errata

Juniorbonus:**33 Punkte**

Um den Wissensvorsprung älterer Teilnehmer:innen in der 1. Runde der IChO auszugleichen, erhalten alle Schüler:innen, die nicht im Abschlussjahrgang ihrer Schule sind, für jedes Schuljahr vor dem Abschlussjahrgang einen Juniorbonus von 4 Punkten, maximal jedoch 20 Punkte. Den Wert des Juniorbonus Ihrer Schüler:innen entnehmen Sie bitte der folgenden Tabelle und tragen ihn an entsprechender Stelle der Bewertungsmaske im Onlineportal ein.

G9-Schulen

Klassenstufe	Juniorbonus
13	0 Punkte
12	4 Punkte
11	8 Punkte
10	12 Punkte
9	16 Punkte
8 und jünger	20 Punkte

G8-Schulen

Klassenstufe	Juniorbonus
12	0 Punkte
11	4 Punkte
10	8 Punkte
9	12 Punkte
8	16 Punkte
7 und jünger	20 Punkte

09.06.2021

Errata zur Aufgabe 3 g):

Im Aufgabentext heißt es „Heizwert“. Angegeben sind jedoch Brennwerte H_S (früher: oberer Heizwert H_0):

- Wasserstoff: $H_{\text{Wasserstoff}} = 140 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$
- Methan: $H_{\text{Methan}} = 55 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$

- Sollten SuS in der Lösung den Begriff „Heizwert“ benutzen, aber mit den angegebenen Brennwerten rechnen, ist das als richtig zu werten.
- Sollten SuS die als „Heizwerte“ in der Aufgabenstellung angegebenen Werte für die Rechnung in Brennwerte umrechnen, ist das als richtig zu werten.
- Sollten SuS mit selbst recherchierten Heizwerten rechnen, ist das als richtig zu werten.

Beispielhaft die Rechnung mit selbst recherchierten Heizwerten H_i :

- Wasserstoff: $H_{\text{Wasserstoff}} = 120 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$
- Methan: $H_{\text{Methan}} = 50 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$

Aufgabe 3 g) Für die Verbrennung von reinem Methan berechnet sich die emittierte Menge Kohlenstoffdioxid gemäß der Reaktionsgleichung der Verbrennung.



Aus einem Äquivalent Methan entsteht bei der Verbrennung folglich ein Äquivalent Kohlenstoffdioxid. Der stoffmengenbezogene Heizwert berechnet sich aus dem massenbezogenen Heizwert und der molaren Masse von Methan.

$$H_{\text{Meth.,Stoffm.}} = H_{\text{Methan}} \cdot M_{\text{Methan}} = 50 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 800 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad [1,0 \text{ P}]$$

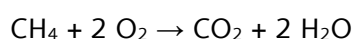
Zur Erzeugung von 1 kWh = 3600 kJ Wärmeenergie muss folglich

$$n_{\text{Methan}} = \frac{3600 \text{ kJ}}{800 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}} = 4,50 \text{ mol} \quad [1,0 \text{ P}]$$

Methangas verbrannt werden, woraus die gleiche Menge Kohlenstoffdioxid entsteht. Mit der Molaren Masse von Kohlenstoffdioxid errechnet sich daraus die freigesetzte Masse an CO_2 .

$$m_{\text{Kohlenstoffdioxid}} = 4,50 \text{ mol} \cdot 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 198 \text{ g} \quad [1,0 \text{ P}]$$

Für den zweiten Fall, dass das über das Erdgasnetz transportierte Gas zu 10 % aus Wasserstoff und zu 90 % aus Methangas besteht, finden bei der Verbrennung folgende Prozesse statt:



Hier wird nur bei der ersten Reaktion, der Verbrennung von Methan, auch Kohlenstoffdioxid freigesetzt. Der stoffmengenbezogene Heizwert von Wasserstoff errechnet sich analog über

$$H_{\text{Wasserst.};\text{Stoffm.}} = H_{\text{Wasserst.}} \cdot M_{\text{Wasserst.}} = 120 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 240 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \quad [1,0 \text{ P}]$$

und damit der Heizwert des Gasgemisches zu

$$H_{\text{Gemisch}} = 0,9 \cdot H_{\text{Meth.};\text{Stoffm.}} + 0,1 \cdot H_{\text{Wasserst.};\text{Stoffm.}} = 744 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}. \quad [1,0 \text{ P}]$$

Analog zur obigen Rechnung lässt sich der Verbrauch an Gasgemisch zu

$$n_{\text{Gemisch}} = \frac{3600 \text{ kJ}}{744 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}} = 4,84 \text{ mol} \quad [1,0 \text{ P}]$$

berechnen. Von diesem sind 90 % Methangas, womit sich die Kohlenstoffdioxid-Emissionen zu

$$m_{\text{Kohlenstoffdioxid}} = 4,84 \text{ mol} \cdot 0,9 \cdot 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 192 \text{ g} \quad [1,0 \text{ P}]$$

berechnen. Die prozentuale Einsparung beträgt folglich

$$\frac{198 \text{ g} - 192 \text{ g}}{198 \text{ g}} \cdot 100 \% = 3,03 \% . \quad [1,0 \text{ P}]$$

16.09.2021

Errata – Teil 2

zur Aufgabe 1 h):

In folgender Reaktionsgleichung



ist NH_4Cl ein Feststoff und wird daher im heterogenen Gleichgewicht im Massenwirkungsgesetz in die Gleichgewichtskonstante K einbezogen:

$$K_c = c_{\text{NH}_3} \cdot c_{\text{HCl}} \quad [1,0 \text{ P}]$$

Da NH_3 und HCl Gase sind, ist die Angabe für K mit Partialdrücken auch korrekt:

$$K_p = p_{\text{NH}_3} \cdot p_{\text{HCl}} \quad [1,0 \text{ P}]$$

Die allgemeine Form

$$K = \frac{c_{\text{NH}_3} \cdot c_{\text{HCl}}}{c_{\text{NH}_4\text{Cl}}} \quad [1,0 \text{ P}]$$

lassen wir auch als Lösung zu.

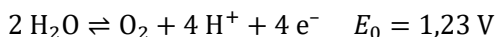
zur Aufgabe 1 k):

In der Musterlösung vom 09.06.2021 liegt ein Vorzeichenfehler vor im Zähler des Exponenten. Richtig ist folgendes:

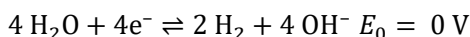
$$K = e^{-\frac{\Delta G_T^0}{R \cdot T}} = e^{-\left(\frac{1,280 \cdot 10^4 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}}{8,3145 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot 573,15 \text{ K}}\right)} = \underline{\underline{6,816 \cdot 10^{-2}}}$$

zur Aufgabe 3 f):

Die Standardpotenziale betragen für die Anodenreaktion



und für die Kathodenreaktion



jeweils für den pH -Wert 0.

Korrekte Reaktionsgleichung Anodenreaktion [1,0 P]

Korrekte Reaktionsgleichung Kathodenreaktion [1,0 P]

Sind Anoden- und Kathodenreaktion vertauscht, insgesamt 1,0 P.

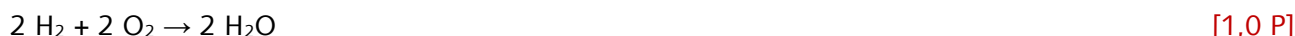
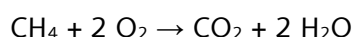
Aus der Differenz des Kathoden- und des Anodenpotentials ergibt sich die für die Elektrolyse notwendige anzulegende Zellspannung von $E_0(\text{Kath.}) - E_0(\text{An.}) = -1,23 \text{ V}$. [1,0 P]

Das Vorzeichen bedeutet hierbei, dass die Reaktion unfreiwillig abläuft. Die Spannung tritt also nicht auf, sondern muss angelegt werden. (nicht gefordert). Sollten zuvor Anoden- und Kathodenreaktion vertauscht sein, wird das folgerichtige Ergebnis als korrekt gewertet.

zur Aufgabe 3 g):

In der Musterlösung vom 09.06.2021 sind die prozentualen Angaben auf die Stoffmengen bezogen. Zusätzlich ist auch die Berechnung mit Massenprozenten richtig:

Für den zweiten Fall, dass das über das Erdgasnetz transportierte Gas zu 10 % aus Wasserstoff und zu 90 % aus Methangas besteht, finden bei der Verbrennung folgende Prozesse statt:



Hier wird nur bei der ersten Reaktion, der Verbrennung von Methan, auch Kohlenstoffdioxid freigesetzt. Der Brennwert des Gasgemisches errechnet sich über

$$H_{\text{Gemisch}} = 0,9 \cdot H_{\text{Methan}} + 0,1 \cdot H_{\text{Wasserstoff}} = 57 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}. \quad [1,0 \text{ P}]$$

Analog zur obigen Rechnung lässt sich der Verbrauch an Gasgemisch zu

$$m_{\text{Gemisch}} = \frac{3600 \text{ kJ}}{57 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}} = 63,16 \text{ g} \quad [1,0 \text{ P}]$$

berechnen. Von dem Gemisch sind 90 % Methangas, also

$$m_{\text{Methan}} = 63,16 \text{ g} \cdot 0,9 = 56,84 \text{ g}.$$

Die Stoffmenge Methan errechnet sich also zu

$$n_{\text{Methan}} = \frac{56,84 \text{ g}}{16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 3,55 \text{ mol}. \quad [1,0 \text{ P}]$$

Womit sich die Kohlenstoffdioxid-Emissionen zu

$$m_{\text{Kohlenstoffdioxid}} = 3,55 \text{ mol} \cdot 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 156 \text{ g} \quad [1,0 \text{ P}]$$

berechnen. Die prozentuale Einsparung beträgt folglich

$$\frac{198 \text{ g} - 156 \text{ g}}{198 \text{ g}} \cdot 100 \% = 21,2 \%. \quad [1,0 \text{ P}]$$

zur Aufgabe 3 j):

Hier liegt in der Musterlösung vom 09.06.2021 ein Tippfehler vor: Das Endergebnis sind **Gigajoule** [GJ], nicht Megajoule [MJ]:

Zu der Herstellung wird eine Energiemenge von

$$E = 8952,5 \text{ mol} \cdot 392 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 3,509 \cdot 10^9 \text{ J} = 3,509 \text{ GJ} \text{ benötigt.}$$

Folgerichtiges Ergebnis [1,0 P]