

55. IChO 2023 – Musterlösung zur 1. Runde

Musterlösung und Bewertungsschlüssel

Aufgabe 1: Scharf wie ein Schweizer Taschenmesser

33 Punkte

Aufgabe 1 a) [3,0 P max]

Begründe anhand der elementaren Zusammensetzung von Inox, warum die Klingen beim Schweizer Taschenmesser nicht rosten.

Inox-Stahl enthält hohe Anteile an Chrom, das bei der Herstellung des Stahls eine dünne Passivierungsschicht aus Chromoxid / Cr_2O_3 bildet. Diese schützt das Material und verhindert den Kontakt mit weiterem Sauerstoff.

[1,0 P für Passivierung, 1,0 P für Chromoxid (Cr_2O_3), 1,0 P für „Kontakt mit Sauerstoff wird verhindert“]

Aufgabe 1 b) [3,0 P max]

Beschreibe anhand des Phasendiagramms ausgehend von der Schmelztemperatur von reinem Eisen qualitativ die Abhängigkeit der Schmelztemperatur vom Kohlenstoffgehalt. Begründe das auftretende Verhalten.

Die Schmelztemperatur von reinem Eisen liegt bei ca. 1550 °C. Mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt nimmt die Schmelztemperatur des Stahls ab und erreicht bei einem Kohlenstoffgehalt von ca. 4,3 % ein Minimum bei einer Schmelztemperatur von ca. 1150 °C. Bei höherem Kohlenstoffgehalt nimmt die Schmelztemperatur erneut zu.

Im Vergleich zu reinem Eisen werden durch die Einlagerung von Kohlenstoff / Kohlenstoffverbindungen Mischphasen gebildet, die nicht so „perfekt kristallin“ sind wie das reine Eisen. Somit werden die Wechselwirkungen im Kristallgitter unterbrochen, sodass weniger Energie zum vollständigen Aufbrechen des Kristallgitters erforderlich ist – die Schmelztemperatur sinkt.

Eine analoge Argumentation kann für die erneute Erhöhung der Schmelztemperatur bei weiter steigenden Kohlenstoffanteilen (formal: Einbringung von Eisen in Fe_3C -Kristalle) verwendet werden.

[Beschreibung: 0,5 P für „Schmelztemperatur 1550 °C“, 0,5 P für Minimum bei C-Gehalt ca. 4,3 %, 0,5 P für „Schmelztemperatur nimmt wieder zu mit C-Gehalt“ (maximal 1,5 P für die Beschreibung)]

[Begründung: 0,5 P für „Mischphasen“, 0,5 P für „imperfekte Kristallstruktur“, 0,5 P für „Änderung der Wechselwirkungen“, 0,5 P für die Relation „weniger Energie nötig = Schmelztemperatur geringer“ bzw. „mehr Energie nötig = Schmelztemperatur höher“ (maximal 1,5 P für die Begründung möglich)]

Aufgabe 1 c) [2,0 P max]

Bestimme anhand des Phasendiagramms, in welchen Modifikationen oder Verbindungen Eisen und Kohlenstoff in einer Messerklinge aus "IChO"-Stahl nach Aushärten und Abkühlen vorliegen.

Eisen als α -Eisen und Fe_3C [1,0 P]

Kohlenstoff als Fe_3C [1,0 P]

Aufgabe 1 d) [4,0 P max]

Erläutere am Beispiel von Zementit, was eine metastabile Verbindung ist.

Eine Verbindung ist metastabil, wenn zwar eine thermodynamisch begünstigte (Zerfalls-)Reaktion existiert, diese jedoch eine so hohe Aktivierungsbarriere aufweist, dass die Reaktion nicht (oder nur sehr langsam) abläuft und die Verbindung somit in ihrem Zustand verbleibt.

Fe_3C ist metastabil, da die Zerfallsreaktion in α -Eisen und Graphit zwar exergon ist, bei Raumtemperatur jedoch nicht abläuft.

[1,0 P für „thermodynamisch begünstigt“, 1,0 P für „hohe Aktivierungsbarriere“, 1,0 P für „keine Reaktion bzw. langsame Reaktion, 1,0 P für Temperaturabhängigkeit.]

Aufgabe 1 e) [3,0 P max]

Gib an, in welchen Temperaturbereichen die gezeigten Eisen-Modifikationen die jeweils stabilste Modifikation darstellen. Begründe Deine Entscheidung.

Durch Ablesen aus dem Phasendiagramm bei $w_{\text{C}} = 0$ ergibt sich:

α -Eisen: bis ca. 900 °C [1,0 P]

γ -Eisen: ca. 900 °C – 1400 °C [1,0 P]

δ -Eisen: ca. 1400 °C – 1550 °C [1,0 P]

Aufgabe 1 f) [6,0 P max]

Berechne, welche der gezeigten Eisen-Modifikationen die höchste Dichte aufweisen sollte.

α -Eisen: $8 \cdot \frac{1}{8} + 1 = 2$ Atome pro EZ
 $V_{\text{EZ}} = r^3 = (288 \cdot 10^{-12} \text{ m})^3 = 2,34 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$
 $\Rightarrow 1,17 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$ pro Fe-Atom

γ -Eisen: $8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4$ Atome pro EZ
 $V_{\text{EZ}} = r^3 = (365 \cdot 10^{-12} \text{ m})^3 = 4,86 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$
 $\Rightarrow 1,22 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$ pro Fe-Atom

δ -Eisen: $8 \cdot \frac{1}{8} + 1 = 2$ Atome pro EZ
 $V_{\text{EZ}} = r^3 = (293 \cdot 10^{-12} \text{ m})^3 = 2,51 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$
 $\Rightarrow 1,26 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$ pro Fe-Atom

Folglich ist die Dichte von α -Eisen am höchsten.

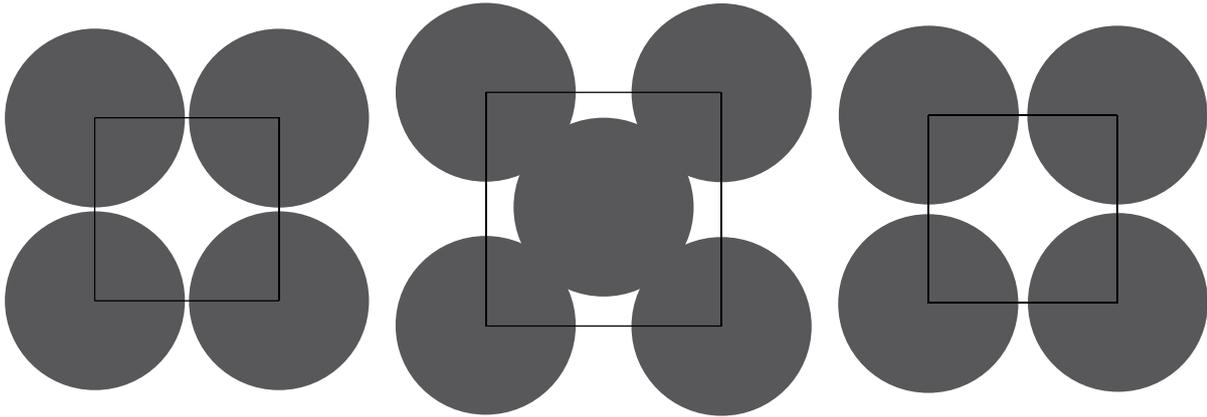
[1,0 P pro richtiger Anzahl Atome pro EZ, 0,5 P pro richtigem Volumen, 0,5 P pro „Dichte“]

Aufgabe 1 g) [4,0 P max]

Skizziere die Aufsicht (d. h. die oberste „Schicht“) einer Elementarzelle des α -, γ - und δ -Eisens unter maßstabgetreuer Darstellung der Atome.

Der Radius eines Eisenatoms beträgt 140 pm (Recherche). [1,0 P]

Somit ergibt sich für α -, γ - und δ -Eisen:

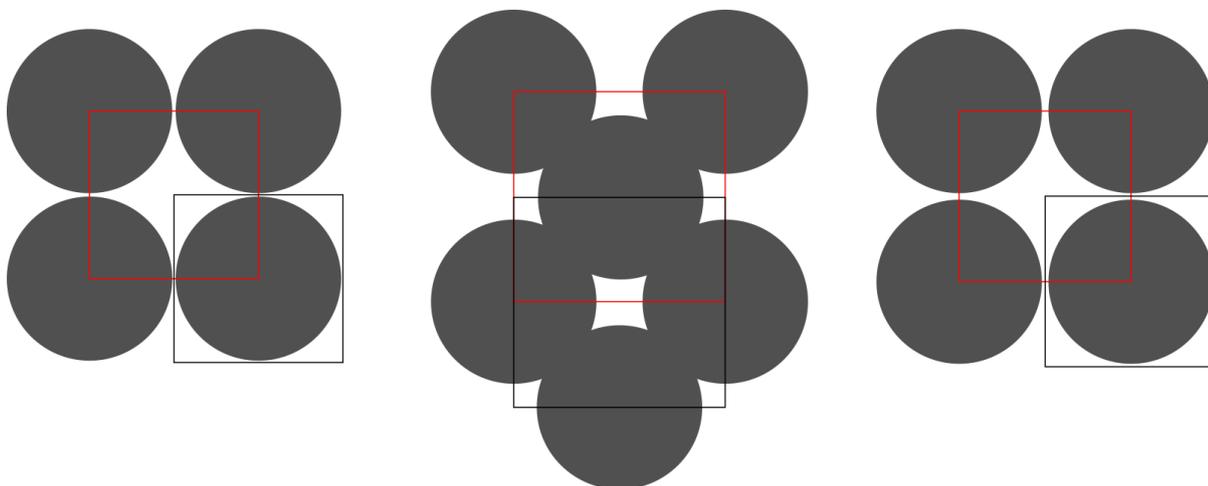


[1,0 P je Modifikation (α - und γ -Eisen müssen eindeutig unterschieden werden können. α - und δ -Eisen können bei ungünstig gewähltem Maßstab kaum unterschieden werden, hier im Zweifel großzügig Punkte vergeben).]

Aufgabe 1 h) [2,0 P max]

Skizziere außerdem einen maßstabsgetreuen Querschnitt (d. h. die mittlere „Schicht“) der Elementarzellen.

Zeichne in Deine Skizze weitere Atome außerhalb der Elementarzelle ein und zeige, dass die oberste und die mittlere „Schicht“ identisch sind.



Für die schwarzen Elementarzellen ist jeweils der Querschnitt skizziert. Aufgrund der Translationssymmetrie des Gitters können völlig gleichwertig die roten Elementarzellen eingezeichnet werden. In diesen ist die Anordnung der Atome identisch zu den Aufsichten in Aufgabenteil g), folglich sind beide „Schichten“ äquivalent.

[jeweils 0,5 P für α - und δ -Eisen, 1,0 P für γ -Eisen]

Aufgabe 1 i) [3,0 P max]

Berechne, wie viele Schichten an Eisenatomen eine durchschnittliche Schnittkante der Klinge eines Schweizer Taschenmessers dick ist.

Die Zahl der Elementarzellen n_{EZ} ergibt sich als

$$n_{EZ} = \frac{d}{r_{EZ}} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{286 \cdot 10^{-12} \text{ m}} \approx 350000$$

Pro Elementarzelle existieren $2 \cdot \frac{1}{2} + 1 = 2$ Atomschichten, sodass sich aus einer Klingendicke von $d=0,1\text{mm}$ (hier beispielhaft) ca. 700 000 Atomschichten ergeben.

[1,5 P Rechenweg, 0,5 P für plausibles d , 0,5 P für 2 Atomschichten pro Elementarzelle, 0,5 P für richtiges Ergebnis]

Aufgabe 1 j) [3,0 P max]

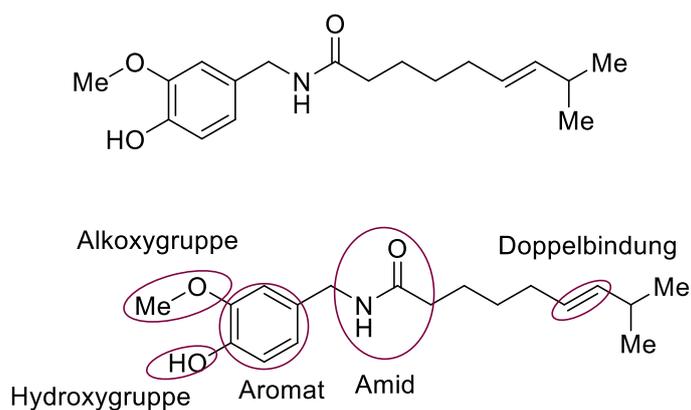
Begründe, weshalb eine abnehmende Klingendicke bei demselben Material das Messer nicht immer schärfer macht.

Für eine scharfe Klinge ist nicht nur eine dünne, sondern auch harte Schnittkante erforderlich. Je dünner aber die Schnittkante wird, desto weniger stabil wird die Anordnung der Atome an der Oberfläche, wodurch die Klinge weniger hart wird: schon bei leichtem Druck verformt sich dann die Schnittkante, das Messer wird stumpf.

[1,0 P für „dünne Klinge“, 1,0 P für „harte Klinge“, 1,0 P für die Relation „je dünner, desto weniger stabil bzw. hart“]

Aufgabe 2: Scharf wie Chili
33 Punkte
Aufgabe 2 a) [5,0 P max]

Markiere und benenne die funktionellen Gruppen im Endprodukt Capsaicin.

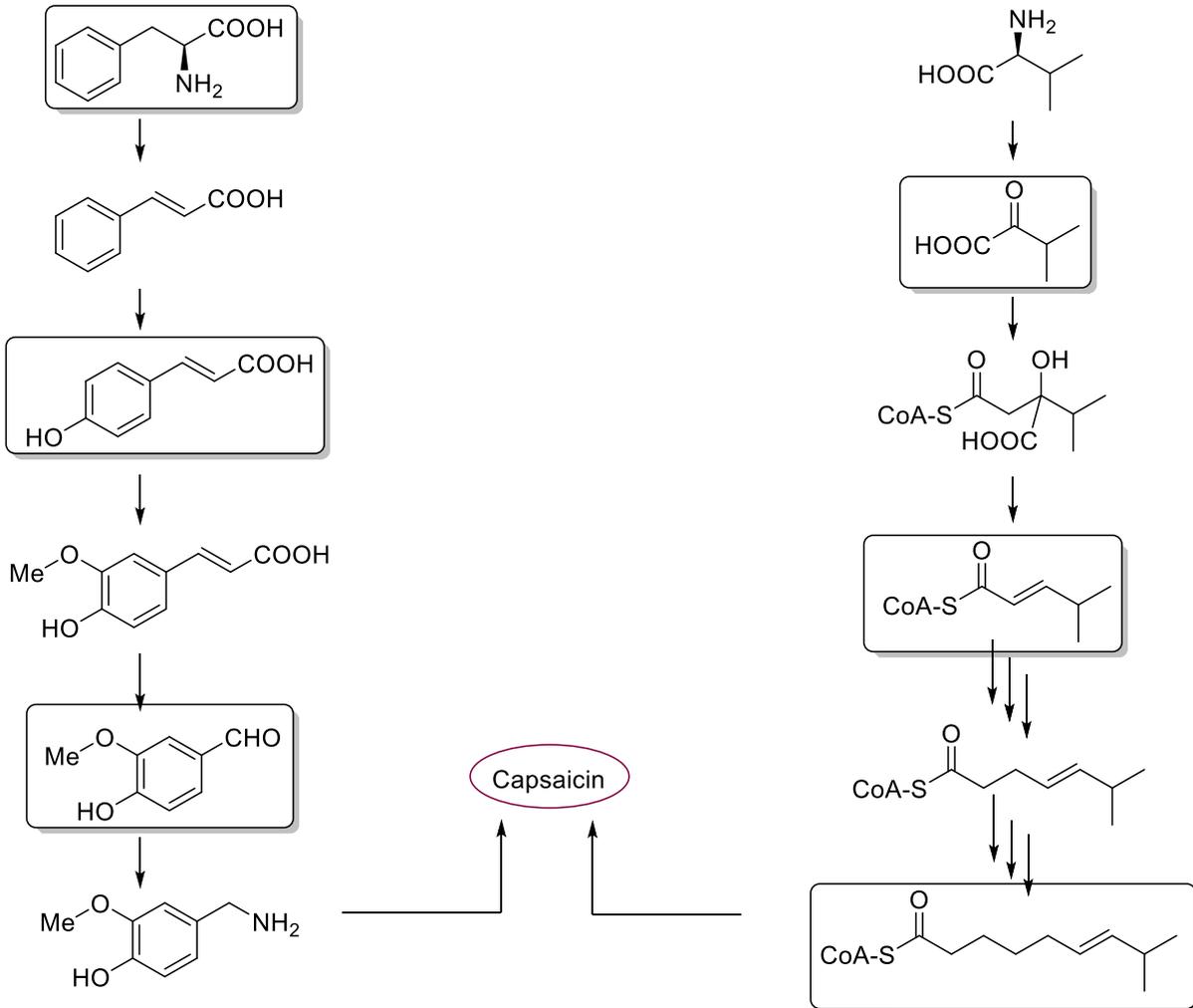


[Markierung: 0,5 P pro Markierung, für eine markierte Alkankette und/oder Methylgruppe auch Punkte vergeben (maximal 2,5 P insgesamt für die Markierungen)]

[Benennung: jeweils 0,5 P für „Alkoxy“, „Hydroxy“, „Aromat“, „Amid“, „Doppelbindung“. Plausible alternative Bezeichnungen wie z.B. „Ether“, „phenolisches –OH“, „Benzolring“, „Carbonsäureamid“, „Peptid“ sind als richtig zu werten. Auch für „Alkan(kette)“, „Methylgruppe“ Punkte vergeben (insgesamt für die Benennung maximal 2,5 P).]

Aufgabe 2 b) [6,0 P max]

Vervollständige die Biosynthese von Capsaicin.



[1,0 P pro richtigem Molekül]

Aufgabe 2 c) [4,0 P max]

Markiere und benenne die Aminosäuren im Strukturausschnitt des Rezeptors.

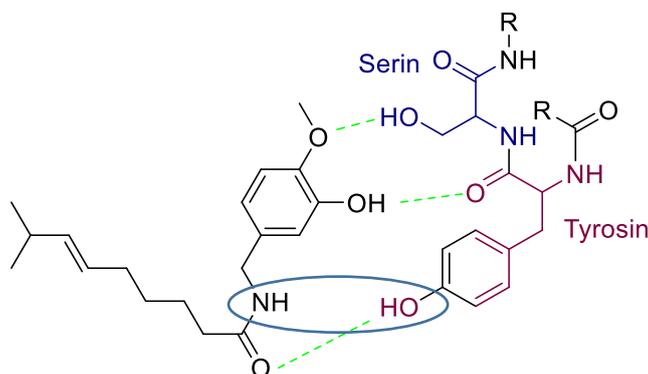
Tyrosin und Serin.

[1,0 P pro Markierung (siehe Abbildung bei Teilaufgabe 2 d), 1,0 P jeweils für richtige Benennung]

Aufgabe 2 d) [3,0 P max]

Zeichne die Wechselwirkungen zwischen Capsaicin und der Bindungsstelle am TRVP1-Rezeptor ein.

Wasserstoffbrückenbindungen, die zwischen dem Vanillyl-Rest und den Aminosäuren Tyrosin und Serin ausgebildet werden.



[1,0 P pro richtiger Markierung (grün gestrichelt). 0,5 P für die Markierung der eingekreisten Wechselwirkung statt $>C=O \cdots HO-$ (ganz unten). 0,5 P Abzug, wenn alle vier eingezeichneten Wechselwirkungen markiert wurden.]

Aufgabe 2 e) [1,0 P max]

Benenne die Art der Wechselwirkungen.

Es handelt sich um Wasserstoffbrückenbindungen. [1,0 P]

Aufgabe 2 f) [5,0 P max]

Begründe, dass die Wechselwirkungen gerichtet sind, indem du folgende Begriffe verwendest: *Elektronenpaar, kovalente Bindung, Elektronegativität, Orientierung, polarisiert*

Wasserstoffbrückenbindungen sind hier gerichtete Wechselwirkungen.

Mögliche Begründung (unterstrichen die Schlüsselwörter):

- Polarisierter, kovalent gebundener Wasserstoff am Donator-Atom
- Polarisierung wird durch die Elektronegativitätsdifferenz zwischen Donator-Atom (hier O-Atome) und den daran kovalent gebundenen H-Atomen bewirkt
- Durch die Polarisierung kommt es zur anziehenden Wechselwirkung mit dem freiem Elektronenpaar des Akzeptors (hier ebenfalls O-Atome)
- Das freie Elektronenpaar des Akzeptors ist im Raum orientiert (es handelt sich um ein p-Orbital): Der Bindungswinkel der H-Brücken-Bindung wird durch die Ausrichtung des freien Elektronenpaares im Raum bestimmt, die H-Brücken-Bindung ist also gerichtet.

[Für jede plausible Aussage mit Schlüsselwort 1,0 P.

Maximale Punktzahl wird vergeben, wenn alle Schlüsselwörter in einem sinnvollen Zusammenhang genannt werden.

Für ein fehlendes Schlüsselwort 0,5 P Abzug, für Verwendung eines Schlüsselwortes in unplausibler Aussage oder falschem Zusammenhang 0,5 P Abzug.]

Aufgabe 2 g) [4,0 P max]

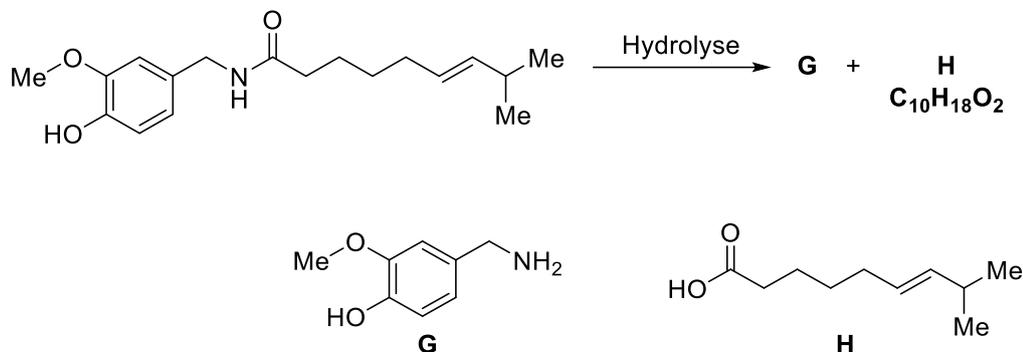
Stelle eine Hypothese auf für die Erklärung der unterschiedlichen Schärfegrade, die oben genannte Moleküle hervorrufen.

Das Capsaicin lagert sich in die Bindungstasche des TRPV1-Rezeptors ein. Dementsprechend muss es eine bestimmte Konformation annehmen können, um die Wechselwirkungen mit der Bindungsstelle am Rezeptor maximieren zu können. Nordihydrocapsaicin und Homodihydrocapsaicin weisen jeweils im Vergleich zum Capsaicin eine verkürzte bzw. eine verlängerte Alkylkette auf. Daher können sich diese beiden Moleküle weniger gut in der Bindungstasche ausrichten und die Wechselwirkungen mit der Bindungsstelle sind weniger stark als beim Capsaicin.

Der Vergleich zwischen Capsaicin und Dihydrocapsaicin zeigt, dass die Doppelbindung keinen signifikanten Einfluss hat.

[1,0 P für „Wechselwirkung Molekül mit Rezeptor“, 1,0 P für „Konformation, passend zur Bindungstasche“, 1,0 P für „Länge der Alkylketten unterschiedlich“, 1,0 P für die Erkenntnis, dass die Doppelbindung keinen Einfluss hat. Andere plausible, logische Entwicklungen sollen ebenfalls als richtig bewertet werden.]

Aufgabe 2 h) [2,0 P max]

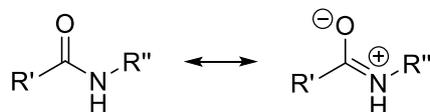
 Zeichne die Struktur der beiden Hydrolyse-Produkte **G** und **H**.


[1,0 P pro richtigem Molekül]

Aufgabe 2 i) [3,0 P max]

Begründe anhand geeigneter mesomerer Grenzstrukturen, warum Capsaicin gegenüber Hydrolyse sehr stabil ist.

- Grenzstrukturen:



[1,0 P pro Struktur]

Säureamide sind durch Mesomerie stabilisiert. Der Stickstoff ist im Vergleich mit dem Sauerstoff im Ester weniger elektronegativer und gibt sein Elektronenpaar eher an das mesomere System ab.

Das C-Atom ist nicht positiv polarisiert. Deshalb ist bei der Hydrolyse der nucleophile Angriff eines Wassermoleküls oder eines Hydroxid-Ions erschwert.

[0,5 P für „Mesomeriestabilisierung“, 0,5 P für „nucleophiler Angriff erschwert“.]

Aufgabe 3: Scharfe Minerale – eine heiße Idee?
33 Punkte
Aufgabe 3 a) [2,0 P max]

Gib an, unter welcher E-Nummer Natriumnitrat als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen ist. Untersuche die Inhaltsangaben auf den Packungen verschiedener Lebensmittel auf Natriumnitrat und nenne ein Produkt, das Natriumnitrat enthält.

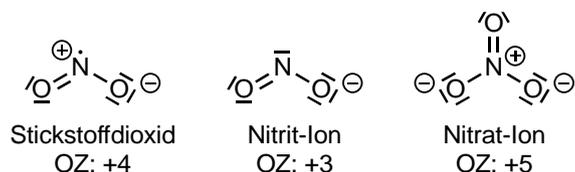
Natriumnitrat ist unter der E-Nummer 251 als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen. [1,0 P]

Es kommt in zahlreichen Lebensmitteln vor, allen voran Fleisch- und Wurstwaren, denen es zum Konservieren zugesetzt wird. Ebenfalls findet es sich in Hart- und Schnittkäse, eingelegten Heringen, etc.

[1,0 P für eine sinnvolle Antwort]

Aufgabe 3 b) [5,0 P max]

Zeichne die Lewis-Formeln von Stickstoffdioxid, dem Nitrat- und dem Nitrit-Ion und nenne jeweils die Oxidationszahl des Stickstoffatoms. Formuliere die Teilgleichungen und die Gesamtgleichung für die oben beschriebene Redoxreaktion.



[0,5 P je Lewis-Formel, 0,5 P je Oxidationszahl]

Teilgleichung 1 (Oxidation): $\text{NO}_2(\text{g}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{NO}_3^-(\text{aq}) + \text{e}^- + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ [0,5 P]

Teilgleichung 2 (Reduktion): $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{e}^- \rightarrow \text{NO}_2^-(\text{aq})$ [0,5 P]

Gesamtgleichung: $2 \text{NO}_2(\text{g}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{NO}_3^-(\text{aq}) + \text{NO}_2^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ [1,0 P]

Aufgabe 3 c) [2,0 P max]

Erkläre anhand des Prinzips des kleinsten Zwangs zwei Möglichkeiten, wie das Gleichgewicht der beschriebenen Reaktion auf die Produktseite verschoben werden kann.

Folgende Möglichkeiten lassen sich aus der Reaktionsgleichung ableiten:

- Erhöhung des Drucks (da auf der Eduktseite mehr gasförmige Teilchen vorhanden sind als auf der Produktseite)
- Erhöhung des Partialdrucks von Stickstoffdioxid (da dadurch die Aktivität eines Edukts erhöht wird)
- Erhöhung der Hydroxid-Konzentration / des pH-Werts (da dadurch die Aktivität eines Edukts erhöht wird)
- Erniedrigung der Konzentration von Nitrit (da dadurch die Aktivität eines Produkts verringert wird)
- Erniedrigung der Konzentration von Nitrat (da dadurch die Aktivität eines Produkts verringert wird)
- Eine Erniedrigung der Konzentration von Wasser ist nicht sinnvoll, da die Konzentration von Wasser in wässrigen Lösungen annähernd konstant ist.

Nicht direkt aus der Reaktionsgleichung, aber durch Recherche lässt sich noch folgende Möglichkeit herleiten:

- Erniedrigung der Temperatur (da die Reaktion exotherm verläuft)

[1,0 P je Stichpunkt, max. 2,0 P möglich]

Aufgabe 3 d) [3,5 P max]

Berechne, wie groß die Massenanteile der einzelnen Elemente in reinem Tachyhydrit sein sollten.

Die molare Masse von Tachyhydrit beträgt $517,59 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Damit folgt z.B. für den Massenanteil von Chlor:

$$w(\text{Cl}) = \frac{6 \cdot M(\text{Cl})}{M_{\text{Tachyhydrit}}} = \frac{6 \cdot 35,45 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{517,59 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 41,1 \%$$

Analoge Rechnungen ergeben für die anderen Massenanteile:

| Element | Ca | Mg | Cl | H | O |
|--------------|-------|-------|--------|-------|--------|
| Massenanteil | 7,7 % | 9,4 % | 41,1 % | 4,7 % | 37,1 % |

[1,0 P Rechenweg (einmalig), 0,5 P je korrektes Ergebnis]

Aufgabe 3 e) [3,0 P max]

Erkläre, was man unter Kristallwasser versteht und warum dieses bereits bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen abgegeben wird.

Als Kristallwasser bezeichnet man Wasser, das in einem kristallinen Festkörper gebunden vorkommt. [1,0 P]

Allerdings sind die Teilchen dabei nicht kovalent gebunden, sondern einfach nur im Kristall eingelagert oder koordinativ bzw. über Wasserstoffbrückenbindungen gebunden. [1,0 P]

Die Bindung von Kristallwasser ist relativ schwach im Vergleich zu kovalenten - oder Ionenbindungen, sodass bereits vergleichsweise geringe Temperaturen ausreichen das Kristallwasser verdampfen zu lassen. [1,0 P]

Aufgabe 3 f) [1,5 P max]

Berechne die Stoffmenge von Wasser in der untersuchten Probe.

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{2,022 \text{ g} - 1,316 \text{ g}}{18,015 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 39,19 \text{ mmol}$$

[1,0 P Rechenweg, 0,5 P Ergebnis]

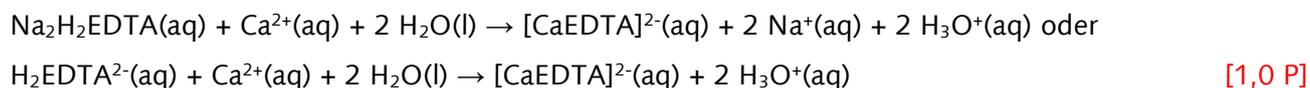
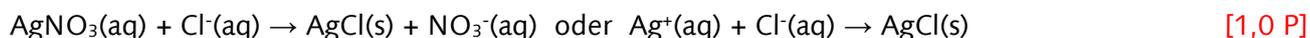
Aufgabe 3 g) [2,0 P max]

 Gib jeweils einen Indikator an, den du für die Titration mit AgNO_3 - bzw. $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ -Lösung verwenden kannst.

$\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ -Lösung: Es handelt sich um eine komplexometrische Titration von Ca und Mg. Jeder in diesem Kontext sinnvolle Indikator ist als richtig zu werten. Die naheliegende Wahl ist Eriochromschwarz T. [1,0 P]

AgNO_3 -Lösung: Es handelt sich um eine Fällungstitration, für die Kaliumchromat (Titration nach Mohr) oder organische Indikatoren wie Eosin oder Fluorescein (Titration nach Fajans) in Frage kommen. [1,0 P]

Aufgabe 3 h) [5,0 P max]

 Formuliere die ausgeglichenen Reaktionsgleichungen für die Reaktion von $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ mit $\text{Cl}^-(\text{aq})$ sowie von $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}(\text{aq})$ mit $\text{Ca}^{2+}(\text{aq})$. Begründe für beide Reaktionen, warum das chemische Gleichgewicht jeweils stark auf der Produktseite liegt und warum dies für Titrationsen wichtig ist.


Für die erste Reaktion liegt das Gleichgewicht stark auf der Produktseite, da Silberchlorid nahezu unlöslich in Wasser ist. [1,0 P]

Auch für die zweite Reaktion liegt das Gleichgewicht stark auf der Produktseite, da EDTA mit Mg^{2+} und Ca^{2+} sehr stabile Komplexverbindungen bildet. Grund dafür ist einerseits, dass EDTA ein mehrzähliger Ligand ist, der sich erst nach dem Auflösen aller Bindungen vom Zentralatom entfernen kann und andererseits, dass die EDTA-Komplexe im Vergleich zu den Aqua-Komplexen, in denen Mg^{2+} und Ca^{2+} in wässriger Lösung normalerweise vorliegen, aus weniger Teilchen besteht und damit entropisch begünstigt sind. [1,0 P, eine der beiden Erklärungen ausreichend]

Für die Eignung als Bestimmungsreaktion einer Titration ist es wichtig, dass diese stöchiometrisch vollständig abläuft – dafür muss das Gleichgewicht einer Reaktion stark auf ihrer Produktseite liegen. [1,0 P]

Aufgabe 3 i) [3,0 P max]

Berechne die Stoffmenge von Chlorid- und Erdalkalimetall-Ionen in der ursprünglichen Probe.

Bestimmung von Chlorid:

Durchschnittlicher Verbrauch an Maßlösung: $\frac{50,1 \text{ mL} + 50,9 \text{ mL}}{2} = 50,5 \text{ mL}$

$$n_{\text{Titration}}(\text{Cl}^-) = n(\text{Ag}^+) = 0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,0505 \text{ L} = 5,050 \text{ mmol} \quad [1,0 \text{ P}]$$

Dies entspricht einem Fünftel der Stoffmenge in der ursprünglichen Probe, womit folgt:

$$n(\text{Cl}^-) = 5 \cdot 5,050 \text{ mmol} = 25,25 \text{ mmol} \approx 25,3 \text{ mmol} \quad [0,5 \text{ P}]$$

Analog folgt für die Bestimmung von Magnesium und Calcium, die hier mit Me^{2+} abgekürzt werden:

Durchschnittlicher Verbrauch an Maßlösung: $\frac{36,8 \text{ mL} + 37,4 \text{ mL}}{2} = 37,1 \text{ mL}$

$$n_{\text{Titration}}(\text{Me}^{2+}) = n(\text{EDTA}) = 0,050 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,0371 \text{ L} \approx 1,855 \text{ mmol} \quad [1,0 \text{ P}]$$

Dies entspricht einem Fünftel der Stoffmenge in der ursprünglichen Probe, womit folgt:

$$n(\text{Me}^{2+}) = 5 \cdot 1,855 \text{ mmol} = 9,275 \text{ mmol} \approx 9,28 \text{ mmol} \quad [0,5 \text{ P}]$$

Aufgabe 3 j) [6,0 P max]

Berechne die Massenanteile von Tachyhydrit, Bischofit und Halit in der Probe und beurteile, ob das Produkt tatsächlich die versprochene Reinheit von 90 % erreicht.

n_{T} , n_{H} und n_{B} sind die Stoffmengen von Tachyhydrit, Halit und Bischofit in der Probe. Außerdem werden $n(\text{H}_2\text{O})$, $n(\text{Cl}^-)$ und $n(\text{Me}^{2+})$ als die Stoffmengen von Wasser, Chlorid und Erdalkalimetallionen definiert. Dann gilt:

$$\begin{aligned} \text{(I)} \quad & 12 \cdot n_{\text{T}} + 6 \cdot n_{\text{B}} = n(\text{H}_2\text{O}) \\ \text{(II)} \quad & 6 \cdot n_{\text{T}} + n_{\text{H}} + 2 \cdot n_{\text{B}} = n(\text{Cl}^-) \\ \text{(III)} \quad & 3 \cdot n_{\text{T}} + n_{\text{B}} = n(\text{Me}^{2+}) \end{aligned}$$

[0,5 P je Gleichung oder alternativ bei richtigem Ergebnis: 1,5 P für den Rechenweg]

Dieses lineare Gleichungssystem muss nun nach n_T , n_H und n_B aufgelöst und in die erhaltenen Ausdrücke die Werte für $n(\text{H}_2\text{O})$, $n(\text{Cl}^-)$ und $n(\text{Me}^{2+})$ eingesetzt werden:

$$n_B = \frac{n(\text{H}_2\text{O}) - 4 \cdot n(\text{Me}^{2+})}{2} = \frac{39,19 \text{ mmol} - 4 \cdot 9,28 \text{ mmol}}{2} \approx 1,035 \text{ mmol}$$

$$n_T = n(\text{Me}^{2+}) - \frac{1}{6} n(\text{H}_2\text{O}) = 9,28 \text{ mmol} - \frac{1}{6} \cdot 39,19 \text{ mmol} \approx 2,748 \text{ mmol}$$

$$n_H = n(\text{Cl}^-) - 2 \cdot n_B - 6 \cdot n_T = 25,25 \text{ mmol} - 2 \cdot 1,035 \text{ mmol} - 6 \cdot 2,748 \text{ mmol} \approx 6,679 \text{ mmol}$$

[0,5 P je Zwischenergebnis oder alternativ bei richtigem Ergebnis: 1,5 P für den Rechenweg]

Damit folgt für die Massenanteile:

$$w_B = \frac{m_B}{2,022 \text{ g}} = \frac{n_B \cdot M_B}{2,022 \text{ g}} = \frac{1,035 \text{ mmol} \cdot 203,30 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2,022 \text{ g}} \approx 10,4 \%$$

$$w_T = \frac{n_T \cdot M_T}{2,022 \text{ g}} = \frac{2,748 \text{ mmol} \cdot 517,59 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2,022 \text{ g}} \approx 70,3 \%$$

$$w_H = \frac{n_H \cdot H}{2,022 \text{ g}} = \frac{6,677 \text{ mmol} \cdot 58,44 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{2,022 \text{ g}} \approx 19,3 \%$$

Die versprochene Reinheit von 90 % wird also nicht erreicht, es handelt sich um minderwertige Ware.

[1,0 P je Ergebnis, auch bei kleineren Abweichungen durch andere (richtige) Rundungen von Zwischenergebnissen, 0,5 P Abzug, wenn die Beurteilung am Schluss fehlt.]

Juniorbonus:
20 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 Bewertungsmappe 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 |

Allgemeines Vorgehen zur Bewertung:

1. Jeder Schülerbearbeitung muss der unterschriebene Anmeldebogen beigelegt werden.
2. Die Korrektur erfolgt anhand der Musterlösung (aktuelle Version vom 05.08.2022)
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 30.09.2022 möglich.