



Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik

Olshausenstraße 62 • 24118 Kiel
Postanschrift: IPN • 24098 Kiel

Sonja Hanebaum · IPN · Olshausenstr. 62 · 24098 Kiel



Sonja Hanebaum

Tel. +49 (0) 431 - 880 - 31 16
Fax +49 (0) 431 - 880 - 54 68

hanebaum@leibniz-ipn.de
www.leibniz-ipn.de
www.icho.de

01.04.2020

Musterlösung zur 1. Runde der IChO 2021 in Osaka, Japan

Liebe Lehrkraft,

Sie haben diese Musterlösung erhalten, da Sie Schülerinnen / Schüler in der 1. Runde des Auswahlverfahrens zur Internationalen ChemieOlympiade betreuen. Deshalb möchten wir uns erst einmal ganz herzlich für Ihr Engagement bedanken.

Die Teilnehmenden müssen ihre Ausarbeitungen spätestens am **15.09.2020** bei Ihnen abgegeben haben. Später eingehende Bearbeitungen werden nicht berücksichtigt. Zur Bewertung der Ausarbeitungen Ihrer Teilnehmenden prüfen Sie bitte das Deckblatt auf Vollständigkeit und Richtigkeit der Angaben. Sollten diese nicht korrekt sein, kontaktieren Sie bitte Ihren zuständigen Landesbeauftragten. Die Frist zur Eingabe Ihrer Bewertungen im Onlineportal ist der **29.09.2020**.

Der oder die Teilnehmende soll die Aufgaben der 1. Runde in Heimarbeit eigenständig lösen. Dazu bitten wir Sie, ihre Schülerinnen und Schüler an die entsprechende Fachliteratur sowie gut recherchierte **Onlinequellen** zu verweisen. Bei gleichlautenden Ausarbeitungen unterschiedlicher Schülerinnen und Schüler müssen diese disqualifiziert werden, da es sich um einen Einzelwettbewerb handelt.

Sollten Sie Unklarheiten in der Musterlösung entdecken, kontaktieren Sie bitte zuerst Ihren Landesbeauftragten oder Ihre Landesbeauftragte. Sollten diese sich so nicht klären lassen, sind wir unter icho@leibniz-ipn.de erreichbar.

Bei der Korrektur werden grundsätzlich **keine Minuspunkte** vergeben, auch aus keiner Teilaufgabe. Bei korrekter Weiterbearbeitung nach einem Fehler werden für den Fehler Punktabzüge vorgenommen, darüber hinaus kann, wenn zutreffend, die volle Punktzahl vergeben werden. Es ist eine Vergabe von Bonuspunkten vorgesehen. So erhalten die Schülerinnen und Schüler für jedes Schuljahr vor dem Abschlussjahrgang einen **Juniorbonus** von 4 Punkten. Im Abschlussjahrgang gibt es keine Bonuspunkte.

Alle Teilnehmenden mit einem Lösungserfolg von 50 % (**53,5 Punkte**) qualifizieren sich für die 2. Runde, die bundesweit am 04.12.2020 als 3-stündige Klausur geschrieben wird. Bitte machen Sie in diesem Fall Ihre qualifizierten Schülerinnen und Schüler auf die **Vorbereitungsaufgaben** auf der Homepage der IChO (www.icho.de) aufmerksam. Diese werden am 15.09.2020 zusammen mit den Schwerpunktthemen veröffentlicht. Diese Aufgaben sind Beispielaufgaben aus vorhergehenden Runden und sind vergleichbar zum Schwierigkeitsgrad der 2. Runde.

Wir freuen uns sehr über Ihre Mitarbeit und wünschen Ihnen sowie Ihren Schülerinnen und Schülern viel Spaß und Erfolg.

Ihr IChO-Team am IPN in Kiel

Aufgabe 1 Der Kampf gegen heiß und Dampf. 33 Punkte

- a) Die RGT-Regel besagt, dass sich die Reaktionsgeschwindigkeit biochemischer Reaktionen bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C verdoppelt bis verdreifacht. (1P)
- b) Oberhalb von etwa 40 °C denaturieren die meisten Proteine, sodass enzymkatalysierte Reaktionen nicht mehr möglich sind. (1P)
- c) Das Verhältnis zweier Geschwindigkeitskonstanten bei unterschiedlichen Temperaturen verhält sich wie das Verhältnis der Exponentialfunktionen:

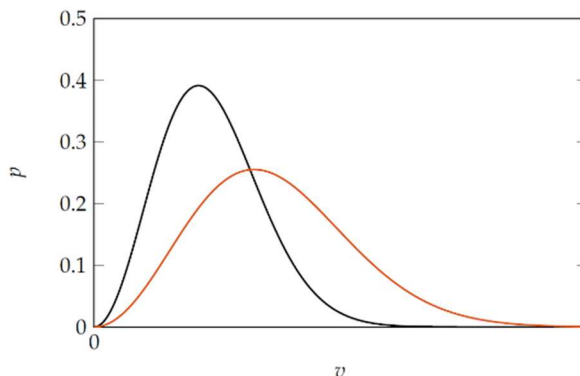
$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{e^{-\frac{E_A}{RT_2}}}{e^{-\frac{E_A}{RT_1}}}$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_A}{RT_1} - \frac{E_A}{RT_2} = \frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$E_A = \frac{R \ln \frac{k_2}{k_1}}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} = \frac{R \ln 2}{\left(\frac{1}{293,35 \text{ K}} - \frac{1}{301,15 \text{ K}} \right)} = 65,3 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Rechenweg 2P Ergebnis 1P (3P)

- d) Das Maximum ist bei höherer Temperatur nach rechts verschoben (1P) und die Kurve flacher (1P) und breiter (1P).



- e) Zwischen einem abgeschlossenen System und dessen Umwelt findet weder ein Austausch von Stoffen noch von Energie statt. (1P)
- f) Einige Wassermoleküle haben eine hohe Geschwindigkeit/Energie, die ausreicht, um attraktive Wechselwirkungen in der flüssigen Phase zu überwinden und in die Gasphase überzugehen (1P). Dabei wird jedoch die mittlere Energie, d. h. die Temperatur, der Wassermoleküle in der flüssigen Phase reduziert (1P).
- g) Unter Berücksichtigung der Energieerhaltung:

$$\text{Verdunstete Stoffmenge: } n = \frac{V \cdot \rho}{M} = \frac{2,8 \text{ mL} \cdot 0,997 \frac{\text{g}}{\text{mL}}}{18,015 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,155 \text{ mol}$$

$$\text{Aufgenommene Wärme: } Q = n \cdot C = 0,155 \text{ mol} \cdot 43,99 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 6,82 \text{ kJ}$$

ΔT in verbleibendem Wasser:

$$\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m} = \frac{6,82 \text{ kJ}}{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 0,2472 \text{ L} \cdot 0,997 \frac{\text{kg}}{\text{L}}} = 6,6 \text{ K}$$

$$T = (25,0 - 6,6) \text{ °C} = 18,4 \text{ °C}$$

Rechenweg 3P, Ergebnis 1P (4P)

h) Energieerhaltungsansatz:

$$\text{Aufgenommene Leistung: } P_{\text{Blatt}} = 350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{20}{10000} \text{ m}^2 = 0,7 \text{ W} = 0,7 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$\text{Aufgenommene Wärme: } Q_{\text{Blatt}} = P_{\text{Blatt}} \cdot t = 0,7 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} = 2,52 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\text{Evaporiertes Wasser pro Stunde: } n = \frac{Q_{\text{Blatt}}}{c_{\text{Wasser}}} = \frac{2,52 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{43,99 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}} = 57,3 \text{ mmol}$$

$$V = \frac{n \cdot M}{\rho} = \frac{57,3 \text{ mmol} \cdot 18,015 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}}}{0,997 \frac{\text{mg}}{\mu\text{L}}} = 1,04 \text{ mL.}$$

Die Fläche des Baums beträgt genähert als Kugelfläche $A_{\text{Baumkrone}} = d^2 \cdot \pi = (10 \text{ m})^2 \cdot \pi = 314,2 \text{ m}^2$, das entspricht $A_{\text{Baumkrone}} = 1,57 \cdot 10^5 A_{\text{Blatt}}$. Das vom gesamten Baum pro Stunde transpirierte Wasservolumen ist demnach

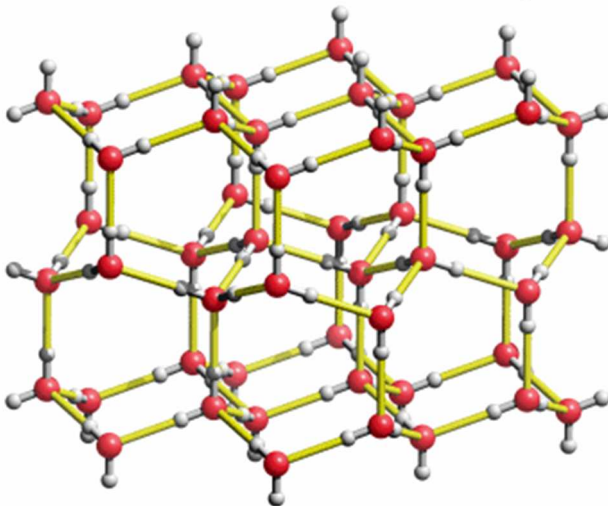
$$V = 1,57 \cdot 10^5 \cdot 1,04 \text{ mL} = 163,2 \text{ L.}$$

Wie viele Blätter der Baum hat, ist unerheblich. Es kommt hier nur auf die Fläche an, wobei jedoch angenommen wird, dass die ganze Fläche der Baumkrone von mindestens einem Blatt bedeckt ist.

Rechenweg 2P Ergebnisse 2P (4P)

Sollte ein anderes geometrisches Modell als die Kugel für die Baumkrone gewählt worden sein, ist dies wegen der sehr vereinfachenden Annahmen in dieser Aufgabe auch als korrekt zu werten.

i) Tetraedrische Koordination und Sechsringstruktur sollten erkennbar sein (2P):



(Abbildungquelle: https://www.cup.lmu.de/ac/kluefers/homepage/L_ac1.html)

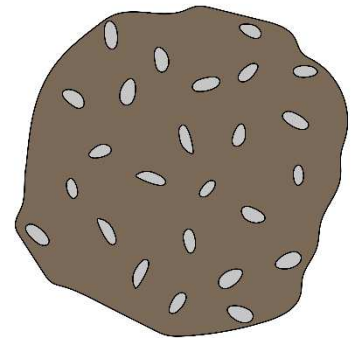
Beim Gefrieren von Wasser in den Zellen treten für die Zelle tödliche Schäden auf: Zum einen beschädigen die nadelförmigen Eiskristalle die Organellen der Zellen (1P). Zum anderen konzentriert sich beim Gefrieren des Wassers die verbleibende Lösung immer mehr auf (1P). Die Zelle wird durch diese Aufkonzentrierung ähnlich wie beim Austrocknen geschädigt.

Außerdem führt die geringere Dichte von Eis zur Ausdehnung beim Gefrieren, wodurch Zellen und Leitgewebe der Pflanze aufplatzen und damit irreversibel zerstört werden (1P).

- j) Die Gefrierpunktserniedrigung ist eine kolligative Eigenschaft (1P), d. h. nur von der Zahl gelöster Moleküle aber nicht von ihrer Art abhängig. Bei der Hydrolyse von Stärke werden ausreichend hohe Molalitäten von Glucosemolekülen freigesetzt, die den Gefrierpunkt deutlich absenken und der Pflanze dadurch Schutz gegen Einfrieren bieten (1P).
- k) Stearinsäure (69 °C), Palmitinsäure (63 °C), Elaidinsäure (44 °C), Ölsäure (16 °C), Linolensäure (–11°C).
Die Schmelzpunkte der Fettsäuren nehmen mit zunehmender Kettenlänge zu, da stärkere Wechselwirkungen zwischen den Ketten wirken können. Doppelbindungen, insbesondere in der *cis*-Konfiguration, schwächen diese Wechselwirkungen ab, sodass eine zunehmende Zahl von Doppelbindungen im Molekül den Schmelzpunkt absenkt.
Reihenfolge korrekt 2P, Kettenlänge 1P, Anzahl Doppelbindungen 1P (4P)
- l) Bei Nachtfrost beginnt das niedergeregnete Wasser zu gefrieren. Dabei wird Kristallisationswärme frei, welche das umgebende Wasser (insbesondere in den Knospen) erwärmt und den Erstarrungsprozess verzögert. (1P)
- m) Wenn die Luft zu trocken ist, d. h. die relative Luftfeuchtigkeit gering ist, und Wind weht, übersteigt die für die Verdunstung des Regens und die Sublimation von Eis benötigte Wärmemenge die beim Gefrieren (eines Teils) des Regens freiwerdende Wärmemenge (1P). Der Pflanze wird damit auch die Verdampfungswärme entzogen und eine Beregnung ist unter diesen Bedingungen sogar kontraproduktiv (1P).

Lösung 1-02 Rot, rund, gesund. 35 Punkte

- a) Die Komplexe werden – dem Namen entsprechend – aus Tonmineralien und Humusbestandteilen mit austauschbaren Kationen gebildet. Tonminerale sind Schichtsilikate mit Korngrößen $< 2 \mu\text{m}$. In den Silikaten sind Kationen eingelagert. Diese lassen sich durch Kontakt mit Wasser nicht einfach aus den Silikaten herauslösen. Die Humusbestandteile sind uneinheitliche organische polymere Verbindungen und entstehen bei der Zersetzung von toten Lebewesen (Pflanzen und Tiere). Sie bestehen überwiegend aus aromatischen Grundkörpern und sind über Brücken aus Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff verzweigt. Durch Seitenketten wie Carboxyl-, Carbonyl-, Methoxy-, Amino- und Hydroxygruppen werden Kationen im Polymer aufgenommen und transportiert. Die Humusbestandteile lagern sich um die Tonmineralien an und ermöglichen dadurch den Pflanzen die Aufnahme der in den Silikaten eingelagerten Ionen.



Skizze: Krümelstruktur erkennbar 1P, viele Tonmineralkörner 1P, umschlossen von Humus 1P

Erklärung: Tonminerale=Schichtsilikate 1P, Humus = organische polymere Zersetzungsprodukte 1P Kationentransport im Humus 1P

(6P)

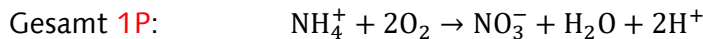
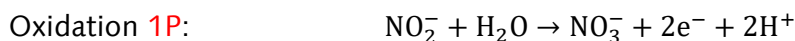
- b) In besonders sandigen Böden können die Kationen durch Regenwasser sehr leicht ausgewaschen werden (1P), wodurch die Pflanzen sie nicht mehr erreichen. Ist der Boden

sehr tonhaltig, liegen die Kaliumionen hauptsächlich gebunden in Form von Silikaten vor (1P). Diese können von der Pflanze nicht aufgenommen und verwertet werden.

c) Schritt 1:



Schritt 2:



Für jeden Punkt muss die jeweilige Gleichung ausgeglichen sein. (7P)

d) Phosphor wird in Zellen in der Oxidationsstufe +V im Wesentlichen für den Aufbau der DNA/RNA, im ATP/ADP-Zyklus als Energiespeicher, pH-Puffer-Substanz oder als Phospholipide zur Bildung von Lipiddoppelschichten benötigt. Andere Angaben dürfen als richtig gewertet werden, so lange sie nachvollziehbar sind.

2P, wenn drei (1P wenn zwei) nachvollziehbare Verwendungen genannt sind. Wurden falsche Angaben gemacht, führt dies auch zu Punktabzug, wenn zusätzlich drei korrekte Verwendungen genannt wurden.

e) Bei pH=7,21 liegen die Phosphorspezies nicht als H_3PO_4 oder PO_4^{3-} vor. 1P

Massenwirkungsgesetz
$$K_S = \frac{c_{\text{HPO}_4^{2-}} \cdot c_{\text{H}^+}}{c_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}}$$

$$\frac{K_S}{c_{\text{H}^+}} = \frac{c_{\text{HPO}_4^{2-}}}{c_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}}$$

Hieraus folgt, dass die Änderung der Konzentrationen der Phosphatsalze direkt von c_{H^+} abhängt.

$$c(\text{H}_2\text{PO}_4^-) + c(\text{HPO}_4^{2-}) = c_{\text{ges}}$$

pH-Wert	$c_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}$	$c_{\text{HPO}_4^{2-}}$
7,21	$0,500 \cdot c_{\text{ges}}$	$0,500 \cdot c_{\text{ges}}$
7,50	$0,339 \cdot c_{\text{ges}}$	$0,661 \cdot c_{\text{ges}}$

Damit beträgt die Änderung der Absolutwerte $\frac{0,500-0,339}{0,500} \cdot 100\% = +32,2\%$ für die basische und $-32,2\%$ für die saure Form und das Verhältnis ändert sich von 1:1 zu $1:0,513 \left(\frac{0,339}{0,661}\right)$ oder 1,949:1.

Rechenweg 2P, Zusammensetzung 1P, Änderung der Absolutwerte 1P, Änderung des Verhältnisses 1P

(5P)

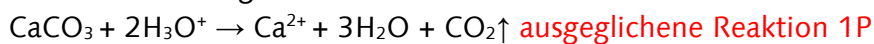
- f) Regenwasser enthält nur wenig gelöste Ionen. Treffen nun Regentropfen auf die Tomatenfrüchte, bleiben einige Tropfen zurück und Wasser diffundiert durch das Konzentrationsgefälle ins Innere der Frucht (Osmose). Durch den erhöhten Druck im Inneren kann es nun zum Platzen der Tomate kommen, wodurch die Außenhaut verletzt wird und die Tomaten eine wesentlich geringere Haltbarkeit aufweisen.

Begründung über Osmose 1P, Druckerhöhung im Tomateninneren 1P, Platzen der Haut 1P

(3P)

- g) Die akute Gegenmaßnahme gegen durch sauren Regen verursachte Versäuerung war die Ausbringung von Kalk (Calciumcarbonat) (1P), zum Beispiel mit Hilfe von Hubschraubern oder Flugzeugen.

Die zu Grunde liegende Neutralisationsreaktion lautet:



(2P)

- h) Das MWG der schwefligen Säure H_2SO_3 lautet:

$$K_S = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HSO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{SO}_3]}$$

Mit

$$[\text{H}^+] = [\text{HSO}_3^-] = x$$

und

$$K_S = 10^{-pK_S}$$

ergibt sich die Gleichung

$$10^{-pK_S} = \frac{x^2}{[\text{H}_2\text{SO}_3]}$$

Dadurch ergibt sich für die Konzentration an schwefliger Säure im Gleichgewicht nach dem Einsetzen von $pK_S = 1,9$ und $[\text{H}^+] = [\text{HSO}_3^-] = 10^{-pH}$ der Wert $7,94 \cdot 10^{-8} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ ergibt.

Über die Löslichkeit von Schwefeldioxid in Wasser lässt sich aus der Konzentration an schwefliger Säure der Partialdruck und darüber der Stoffmengenanteil in der Luft bestimmen.

$$H = \frac{c}{p}$$

$$1,3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{Pa}} = \frac{7,94 \cdot 10^{-8} \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{p}$$

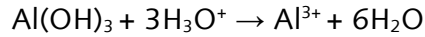
$$p = \frac{7,94 \cdot 10^{-8} \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{1,3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{Pa}}}$$

$$p = 6,11 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$$

Da der Stoffmengenanteil in einem Gasgemisch direkt proportional zum Partialdruck ist, entspricht der Anteil an Schwefeldioxid in der Atmosphäre dem Verhältnis aus Partialdruck von Schwefeldioxid und dem Luftdruck, also **611 ppb**.

Rechenweg 4P, Ergebnis 1P (5P)

- i) Bei Gibbsit handelt es sich um Aluminiumhydroxid. Die Auflösung von Gibbsit durch sauren Regen folgt dabei der Reaktion



Das MWG für die Reaktion lautet somit:

$$K = \frac{[\text{Al}^{3+}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]^6}{[\text{H}_3\text{O}^+]^3 \cdot [\text{Al(OH)}_3]}$$

Im vorliegenden Beispiel führt ein Absinken des pH-Wertes von 5,3 auf 4,7 zu einer Erhöhung der Protonenkonzentration um den Faktor

$$\frac{10^{-4,7}}{10^{-5,3}} = \frac{1,995 \cdot 10^{-5}}{5,012 \cdot 10^{-6}} = 3,98$$

Da dieser Faktor in dritter Potenz in das MWG eingeht und die Konzentration von Wasser (im Überschuss) und Gibbsit (feste Phase) als konstant angesehen werden können, ergibt sich die Gleichung

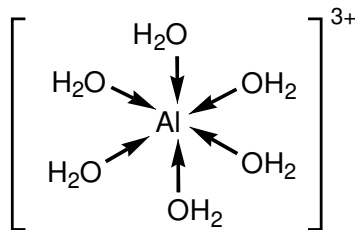
$$\frac{[\text{Al}^{3+}]_1}{[\text{H}_3\text{O}^+]_1^3} = \frac{[\text{Al}^{3+}]_0}{[\text{H}_3\text{O}^+]_0^3}$$

$$\frac{[\text{Al}^{3+}]_1}{[\text{Al}^{3+}]_0} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_1^3}{[\text{H}_3\text{O}^+]_0^3} = 3,98^3$$

Und darüber der Faktor, um den sich die Aluminiumionenkonzentration erhöht, zu $3,98^3 = 63,0$.

Massenwirkungsgesetz 2P, Rechenweg 1P, Ergebnis 1P (4P)

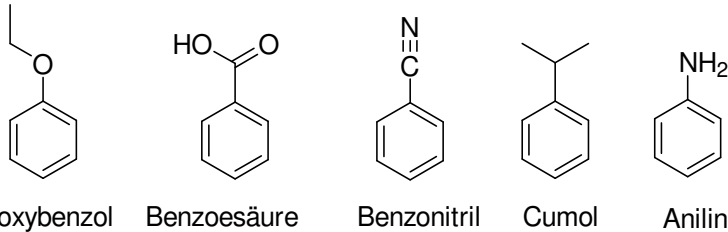
- j) Aluminium bildet in Wasser einen Hexaaquakomplex: Hexaaquaaluminium-(III)-ion



Struktur 1P, Name 1P (2P)

Lösung 1-03: Des einen Freud, des anderen Leid. 39 Punkte

a)



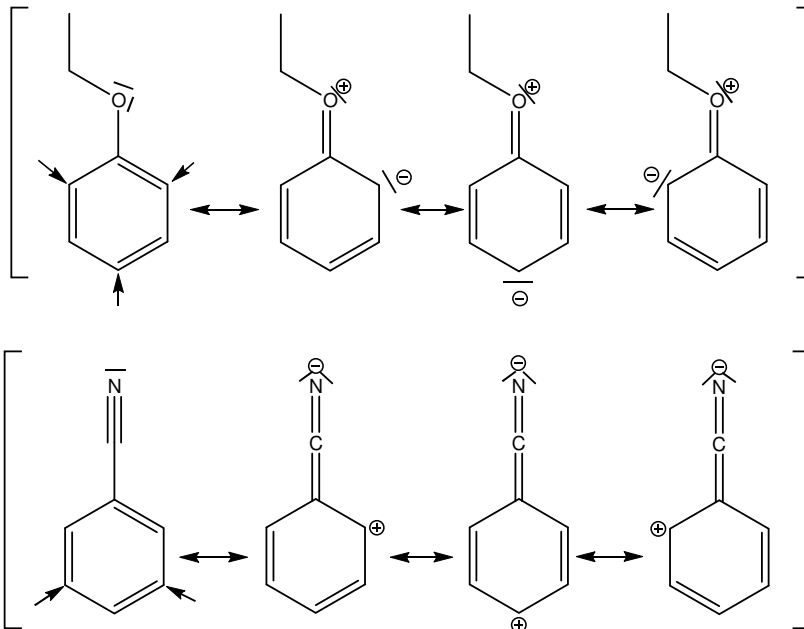
Je Struktur 1P (5P)

b)

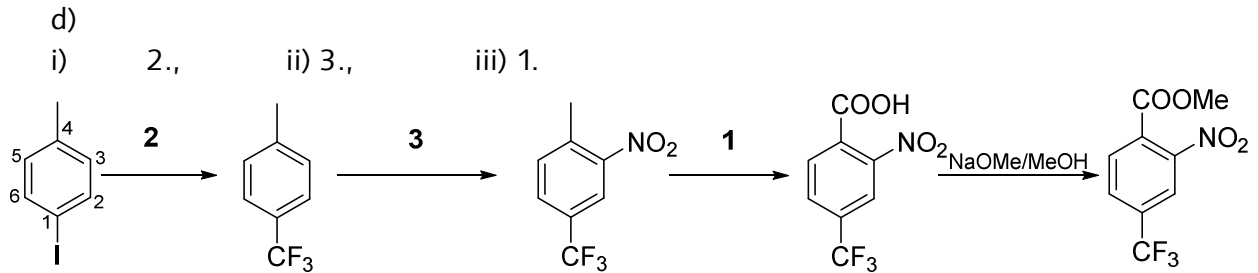
Ethoxybenzol	+M; -I	<i>ortho/para</i>
Benzoessäure	-M; -I	<i>meta</i>
Benzonitril	-M; -I	<i>meta</i>
Cumol	+I	<i>ortho/para</i>
Anilin	+M; -I	<i>ortho/para</i>

Je Struktur 1P für Effekte, 1P für dirigierende Wirkung. (10P)

- c) Durch den Sauerstoff stehen für eine Zweitaddition in ortho- oder para-Position mehr Elektronendichte zur Verfügung als in der meta-Position. Dadurch wird die entstehende Ladung bei der elektrophilen Addition kompensiert und es entstehen vorwiegend ortho- und para-substituierte Produkte. Im Fall der CN-Gruppe wird Elektronendichte aus dem Ring herausgezogen. Dadurch entstehen positive Partialladungen in ortho- und para-Position. Dadurch wird der elektrophile Angriff an diesen Positionen unwahrscheinlicher und es wird in meta-Position dirigiert.



Mesomeriepfeile verwendet 1P, negative Partialladungen bei Ethoxybenzol in ortho- und para-Position 3P, positive Partialladungen bei Benzonitril in ortho- und para-Position 3P, Textbegründung 2P (9P)

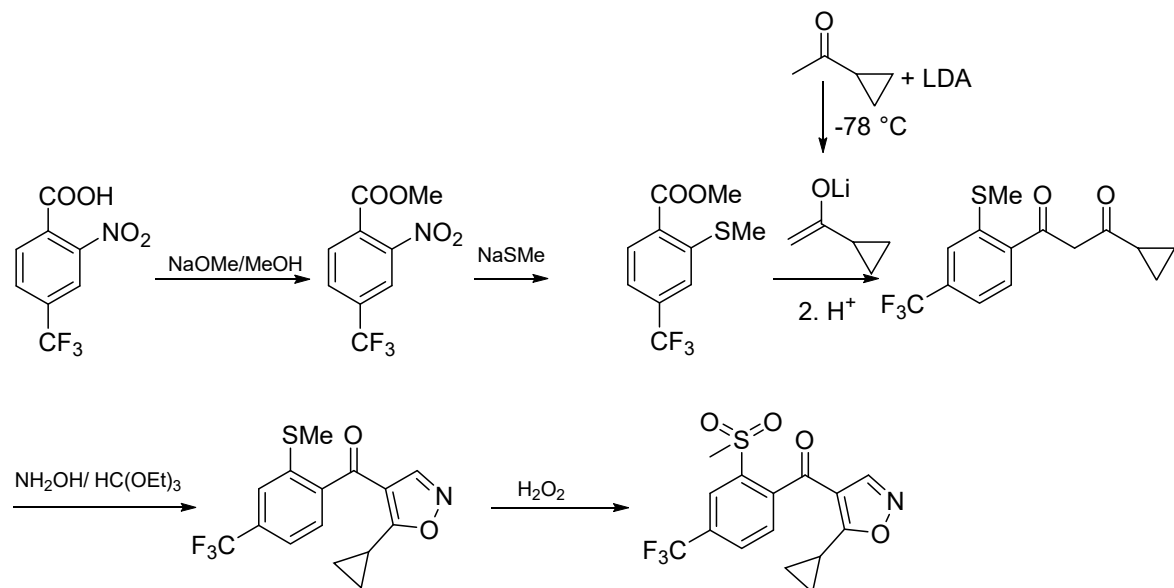


Die Methylgruppe ist ortho- para-dirigierend, ebenso wie das Iodid. Weil die Reaktion an allen unsubstituierten Positionen (2, 3, 5 und 6) so erleichtert würde, wäre eine elektrophile Addition an dieser Stelle nicht selektiv. Würde erst zur Säure oxidiert, wäre die nachfolgende Addition meta-dirigierend (2 und 6), also entgegen der geplanten Selektivität.

Es muss also zuerst die meta-dirigierende Trifluormethylgruppe eingeführt werden. Jetzt wirken Methylgruppe und Trifluormethylgruppe zusammen, was eine Addition selektiv in Position 3 ermöglicht. Nachfolgend wird die Methylgruppe zur Säure oxidiert.

Zuordnung 2P Begründung 2P Strukturen je 1P (7P)

e)



Für **G** sind alle sinnvollen Oxidationsmittel als korrekt zu werten.

D 1P, E 2P, F 1P, G 1P (5P)

f) Es handelt sich um das kinetisch bevorzugte Enolat. Dieses bildet sich bei tiefen Temperaturen und starken, sterisch anspruchsvollen Basen wie LDA, da die Protonen am primären Kohlenstoff für die Base leichter zugänglich sind. Unter diesen Bedingungen ist die Deprotonierung vollständig und irreversibel.

Kinetisch bevorzugt 1P, Begründung 2P (3P)

Weiterführende Information: Thermodynamisch stabiler ist das Anion an der höher substituierten Position. Dieses entsteht bei höherer Temperatur durch Einstellung eines Gleichgewichts. Dafür werden Basen wie Alkoholate oder Hydroxide eingesetzt.