



Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften
an der Universität Kiel
PD Dr. Sabine Nick



Didaktik der Chemie
Olshausenstraße 62
D-24098 Kiel
Telefon +431-880-3168
Fax: +431-880-5468
Tel. S. Nick: +431-880-3116
email: nick@ipn.uni-kiel.de
email: barfknecht@ipn.uni-kiel.de

September 2009/bf

Auswahlverfahren zur ChemieOlympiade 2010

Aufgaben 2. Runde

Abgabe über die Schule beim Länderbeauftragten. Abgabetermine und Liste der Landesbeauftragten unter www.icho.de

Die Auswahl der Mannschaft für die ChemieOlympiade, die vom 19. bis 28. Juli 2010 in Tokio (Japan) stattfinden wird, erfolgt in vier Runden. In der ersten und zweiten Runde werden Aufgaben zu Hause gelöst, zur dritten Runde treffen sich Schülerinnen und Schüler im Frühjahr 2010 zu einem Auswahlseminar. Hier stehen Vorträge und Übungen im Vordergrund. Sie lernen dabei Schülerinnen und Schüler aus anderen Bundesländern kennen, daneben informieren ehemalige Teilnehmer/innen über die ChemieOlympiade und das Chemiestudium. Es werden zwei theoretische Klausuren von jeweils 5 Stunden Dauer geschrieben. Die Teilnehmer/innen der dritten Runde haben die Möglichkeit an Praktika in Industrie und Universitäten teilzunehmen.

Die besten Fünfzehn der dritten Runde kommen später für eine Woche nach Kiel ins IPN zur vierten Runde. Hier steht ein Labor zur Verfügung, in dem experimentiert wird. Es werden eine theoretische und eine praktische Klausur geschrieben. Für die dritte und vierte Runde werden die Reisekosten ersetzt, Verpflegung und Unterkunft gestellt.

Die besten vier Teilnehmer/innen der der vierten Runde stellen die deutsche Mannschaft und fahren zur Internationalen ChemieOlympiade. Darüber hinaus werden sie in die Förderung der Studienstiftung des Deutschen Volkes aufgenommen.

Die Teilnahmebedingungen sind die gleichen wie in der ersten Runde (Geburtsdatum später als 1. Juli 1990) mit dem Zusatz, dass Schüler/innen, die im Sommersemester 2010 ein Studium aufnehmen, nicht an der IChO und damit auch nicht mehr an der dritten Runde teilnehmen können. Wehr- bzw. Ersatzdienst fallen nicht unter diese Regelung.

Die Teilnahme an der zweiten Runde setzt eine erfolgreiche Teilnahme an der ersten Runde voraus!

In allen Runden werden keine korrigierten Lösungen zurückgegeben!

Die Aufgaben der vergangenen Auswahlrunden sind unter www.icho.de erhältlich.

Die Aufgaben der zweiten Runde sind so abgefasst, dass Sie auch dann weiterkommen können, wenn Sie nicht alle Aufgaben vollständig gelöst haben.

Es werden jedoch nur solche Lösungen korrigiert, die die folgenden Angaben enthalten:

1. Name, Adresse, Telefonnummer, Geburtsdatum, Klasse (Schuljahrgang) und wenn vorhanden Email der Teilnehmerin/ des Teilnehmers.
2. Name der Schule (mit Telefonnummer) und der Fachlehrerin/ des Fachlehrers mit Adresse und Email.

Bitte benutzen Sie hierfür den Vordruck auf unserer Webseite (www.icho.de) unter „Landesbeauftragte“.

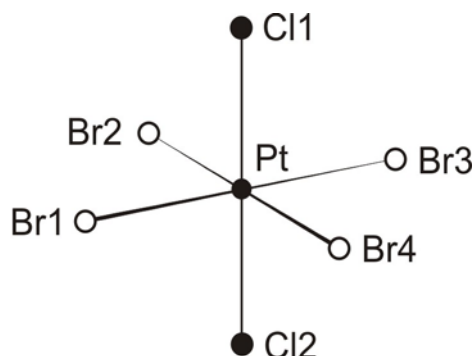
Die Benachrichtigung über die Teilnahme an der dritten Runde erfolgt Ende Januar 2010. Weitere Informationen finden sich auch im Internet auf den Seiten des Fördervereins Chemie-Olympiade (www.fcho.de), in dem sich ehemalige Teilnehmer/innen zusammengeschlossen haben.

Aufgabe 2-1 Halogenoplatinate

Die einheitlich substituierten Halogenverbindungen fast aller Übergangsmetalle sind schon lange bekannt. In der letzten Zeit gelang die Synthese einer Vielzahl gemischter Halogenokomplexe, die mehrere unterschiedliche Halogenoliganden enthalten.

a) Geben Sie alle Komplexanionen im System der Chloro-Bromo-Platinate(IV), $[PtCl_nBr_{6-n}]^{2-}$ ($n = 0$ bis 6) an. Benutzen Sie zur Kennzeichnung der Stereoisomere die Bezeichnungen *cis*, *trans*, *fac* und *mer* (Beispiel: *trans*- $[PtCl_xBr_y]^{2-}$).

Für detaillierte spektroskopische Betrachtungen ist es erforderlich, die Symmetrie eines Moleküls genau zu beschreiben.



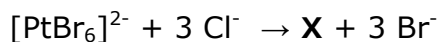
b) Nennen Sie die Punkt-Symmetrie-Gruppe des abgebildeten Chloro-Bromo-Platinates(IV). Verwenden Sie das entsprechende Schoenflies-Symbol.

c)

1. Welche Symmetrieelemente geben die einzelnen Zeichen an, aus denen das Schoenflies-Symbol zusammengesetzt ist? Geben Sie dabei an, welche Atome in den entsprechenden Symmetrieelementen enthalten sind (Beispiel: n -zählige Drehachse entlang der X-Y-Z-Bindung oder Ebene durch die Atome X, Y, Z, ...) und geben Sie zusätzlich die räumliche Lage aller Symmetrieelemente zueinander an.
2. Fertigen Sie zur Verdeutlichung eine Skizze an.

Die Darstellung der gemischten Chloro-Bromo-Platinate(IV) geschieht unter anderem durch substitutiven Ligandenaustausch. Man geht von den hexahalogenierten Komplexverbindungen $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ und $[\text{PtBr}_6]^{2-}$ aus und setzt Sie mit Br^- bzw. Cl^- -Ionen um. Die Art der Gegenionen, des Lösungsmittels oder die Temperatur soll vernachlässigt werden. Auch mögliche inter- oder intramolekulare Nebenreaktionen sollen nicht berücksichtigt werden. Gehen Sie lediglich von einem vollständigen Umsatz der Br^- oder Cl^- -Ionen aus.

Die folgende Umsetzung führt selektiv zu einem Hauptprodukt:



d) Wie lautet das Reaktionsprodukt \mathbf{X} , und um welches Stereoisomer handelt (cis, trans, fac oder mer) es sich? Begründen Sie ihre Antwort.

Dagegen führen Umsetzungen von $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ mit Br^- in Abhängigkeit der Menge Br^- zu Gemischen von verschiedenen zusammengesetzten Verbindungen $[\text{PtCl}_n\text{Br}_{6-n}]^{2-}$ ($n = 0$ bis 6).

e) Welche Stereoisomere (cis, trans, fac oder mer) erwarten Sie neben nicht umgesetztem $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ und bereits entstandenem $[\text{PtBr}_6]^{2-}$ hauptsächlich in den Produktgemischen? Begründen Sie ihre Antwort.

Ein Gemisch der beiden Komplexsalze $(\text{TBA})_2[\text{PtCl}_5\text{Br}]$ und $(\text{TBA})_2[\text{PtCl}_3\text{Br}_3]$ soll auf ihr Konzentrationsverhältnis untersucht werden. Da Stereoisomere die gleiche Zusammensetzung haben, wurde auf deren Bezeichnung verzichtet. Die Abkürzung TBA steht für das Tetra- n -butylammonium-Kation ($n\text{-Bu}_4\text{N}^+$).

Die Elementaranalyse des Gemisches liefert einen Massenanteil an Brom von 11,2 %.

f) In welchem Konzentrationsverhältnis liegen die beiden Komplexsalze in dem Gemisch vor?

Die Umsetzung von $(\text{TBA})_2[\text{PtCl}_6]$ mit BrF_3 bei tiefen Temperaturen liefert sehr selektiv ein Gemisch, das neben einer geringen Menge nicht umgesetztem $(\text{TBA})_2[\text{PtCl}_6]$ die Komplexverbindungen $(\text{TBA})_2[\text{PtFCl}_5]$, cis- $(\text{TBA})_2[\text{PtF}_2\text{Cl}_4]$ und fac- $(\text{TBA})_2[\text{PtF}_3\text{Cl}_3]$ enthält.

g) Warum werden die genannten Verbindungen bevorzugt gebildet und warum entstehen Verbindungen mit symmetrisch substituierten F-Pt-F-Achsen nur in Spuren? Begründen sie ihre Antwort.

Das ^{195}Pt -NMR-Spektrum des Reaktionsgemisches liefert folgende (Multipllett-) Signale mit Angabe der chemischen Verschiebungen und teilweiser Angabe der relativen Intensitäten (Hinweis: Es sind keine Kopplungen zu den Chloridliganden vorhanden.):

Multipllett	chemische Verschiebung / ppm	relative Intensitäten
(TBA) ₂ [PtCl ₆]	4749,93	0,242
(TBA) ₂ [PtFCl ₅]	5831,01	0,242
	5845,89	
<i>cis</i> -(TBA) ₂ [PtF ₂ Cl ₄]	6887,18	
	6902,11	0,606
	6917,04	
<i>fac</i> -(TBA) ₂ [PtF ₃ Cl ₃]	7899,64	
	7914,68	1
	7929,72	
	7944,75	

h) Erklären Sie qualitativ die relative chemische Verschiebung der vier Signale zueinander.

i) Erklären Sie die Multiplizität der Signale und geben Sie die relativen Signalintensitäten innerhalb eines jeden Multiplletts in ganzen Zahlen an.

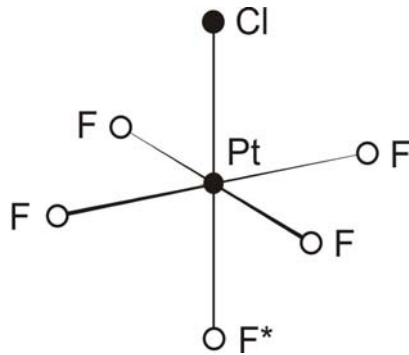
An Stelle von Elementaranalysen lassen sich nach entsprechender Kalibrierung des Spektrometers auch NMR-Spektren zur Bestimmung von Produktverhältnissen in Reaktionsgemischen heranziehen.

j)

- Bestimmen Sie die relativen Intensitäten der kompletten Multipllett-Signale zueinander.
- Ermitteln Sie anschließend aus den ^{195}Pt -NMR-spektroskopischen Daten das Konzentrationsverhältnis der Verbindungen.

Die wesentliche Aufgabe der NMR-Spektroskopie ist jedoch die Aufklärung der Konfiguration von Verbindungen. Sind in einer Komplexverbindung, anders als Sie es bisher gesehen haben, mehrere magnetisch **nicht** äquivalente Fluoroliganden vorhanden, sind die ^{195}Pt -NMR-Spektren etwas komplizierter aufgebaut.

Ein Chemiker benötigt für weitere Untersuchungen die Komplexverbindung $[\text{PtF}_5\text{Cl}]^{2-}$:



Dazu trennt er ein Produktgemisch chromatographisch auf und untersucht die Fraktionen mit Hilfe der ^{195}Pt -NMR-Spektroskopie. Aus Spektren verwandter Verbindungen sind die zu erwartenden Kopplungskonstanten ungefähr bekannt ($^1J(\text{PtF})=1915\text{ Hz}$ und $^1J(\text{PtF}^*)=1360\text{ Hz}$). Eine chemische Verschiebung von 1 ppm entspricht bei der verwendeten Spektrometerfrequenz 85,63 Hz. Das Gegenion des Komplexanions soll bei dieser Betrachtung keine Rolle spielen.

k)

1. Skizzieren Sie das zu erwartende ^{195}Pt -NMR-Spektrum.
2. Erklären Sie das Multipllett-Signal und geben Sie die relativen Intensitäten an.

l) Geben Sie mit Hilfe der angegebenen Kopplungskonstanten für jedes einzelne Signal die chemische Verschiebung in ppm an. Setzen Sie für den Signalschwerpunkt eine chemische Verschiebung von 10580 ppm fest.

Durch einen "photochemischen Trick" gelingt die Herstellung eines Platinkomplexes, der durch gewöhnliche Substitutionsreaktionen bisher nicht zugänglich war.

Die Bestrahlung einer Komplexverbindung **1** mit UV-Licht bei sehr tiefen Temperaturen führt zu einer neuen Komplexverbindung **2** und einem weiteren Produkt **3**. Die Verbindungen **1** und **2** sind Cäsiumsalze jeweils einkerniger fluorhaltiger zweifach negativ geladener Platinkomplex-Anionen.

Es wurden folgende fünf Befunde festgestellt:

1. Die Verbindung **1** liefert ein ^{195}Pt -NMR-Spektrum mit einem Triplet von Triplets.
2. Die Elementaranalyse von **1** liefert einen Massenanteil an Kohlenstoff von 3,84 %.
3. Das Produkt **2** lässt sich stereospezifisch mit einer äquimolaren Menge Chlor zu einer Verbindung **4** umsetzen. Das ^{195}Pt -NMR-Spektrum von **4** weist ein Quintett auf.
4. Die Bestrahlung von **1** wird in einer geschlossenen Ampulle durchgeführt. Nach der Reaktion herrscht in der Ampulle ein Überdruck, es hat eine Gasentwicklung stattgefunden.

5. Die Reaktion lässt sich infrarotspektroskopisch verfolgen. Man verpresst eine geringe Menge der Verbindung **1** mit einem geeigneten Einbettungsmaterial zu einer transparenten Probe und nimmt ein Infrarotspektrum auf (**Abb. 1** oben). Anschließend bestrahlt man die Probe eine ausreichende Zeit mit UV-Licht und nimmt wiederum ein Spektrum auf (**Abb. 1** unten). Eine Trübung der Probe nach der Bestrahlung deutet auf Gaseinschlüsse hin.

(Hinweis: Die absoluten Wellenzahlen eines Infrarotspektrums unterliegen verschiedenen Einflüssen, wie z. B. der Messtemperatur, der Konzentration oder der Art des Einbettungsmaterials. Daher weichen Angaben aus der Literatur stets um einige Wellenzahlen von einander ab.)

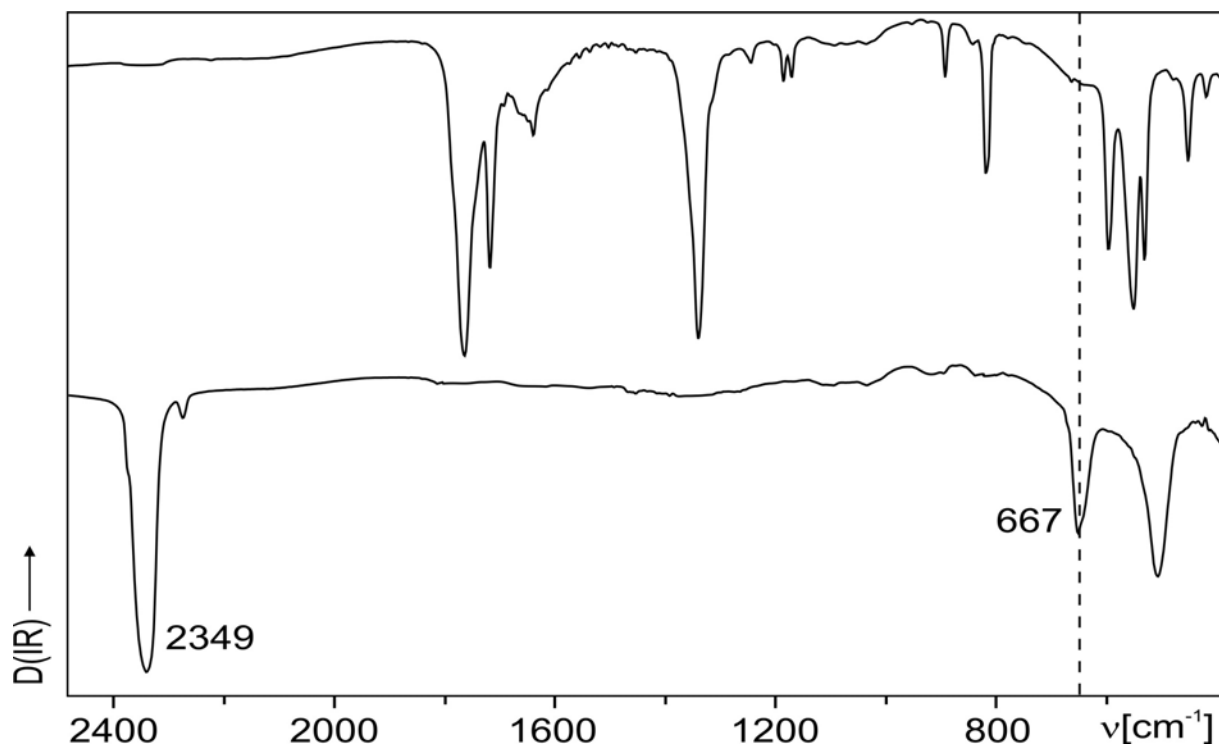


Abb. 1 Infrarotspektren vor (oben) und nach (unten) der Bestrahlung.

- m) Um welche Verbindungen handelt es sich im Fall von **1**, **2** und **3**?
- n) Begründen Sie Ihre Antwort und gehen Sie dabei auf **alle fünf** genannten Befunde ein.

Aufgabe 2-2 Reaktoren

Ein Chemischer Betrieb verdient sein Geld damit, dass er Verbindung **1** ($M_1 = 100 \text{ g/mol}$) mit Verbindung **2** mit ($M_2 = 75 \text{ g/mol}$) zu Verbindung **3** mit ($M_3 = 175 \text{ g/mol}$) umsetzt. Vereinfachend sei angenommen, dass sich dabei das Volumen nicht ändert und alle Stoffe eine Dichte von 1 kg/L haben.

Der Betrieb hat einen zylindrischen Kessel mit 9 m^3 Rauminhalt, der für die Reaktion zu $2/3$ gefüllt werden kann. Bei dieser Füllung sei das Verhältnis von Füllhöhe zu Reaktordurchmesser gleich 1. Zur Wärmezufuhr und -abfuhr ist ein Außenmantel angebracht, wobei vereinfachend angenommen wird, dass keine Wärme über den Reaktorboden oder den Deckel abgeführt wird, die Wärmeübertragung erfolgt nur an den mit der Flüssigkeit in Kontakt stehenden Seitenwänden.

a)

1. Welche Massen der Verbindungen **1** und **2** füllt der Betrieb für eine Reaktion in den Kessel?
2. Welchen Stoffmengen entsprechen die Massen von **1** und **2**?
3. In welchen Stoffmengenkonzentrationen c_0 liegen die Verbindungen **1** und **2** vor (Runden Sie Ihr Ergebnis auf zwei Nachkommastellen.)?

Es handelt sich um eine Reaktion 2. Ordnung, bei der beide Edukte äquimolar eingesetzt werden und zu jeder Zeit im Verhältnis 1:1 vorliegen. Die zeitabhängige Konzentration, $c_{1,2}(t)$, der Edukte lautet:

$$c_{1,2}(t) = \frac{c_0}{1 + k \cdot t \cdot c_0} \quad \text{mit } k = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{s})$$

b) Nach wie vielen Stunden wird im Reaktor ein Umsatz von 96 % erreicht (Geben Sie Ihr Ergebnis in vollen Stunden an.)?

c)

1. Formulieren Sie das Geschwindigkeitsgesetz für die Bildung von Verbindung **3** als Differentialgleichung. Mit welcher Rate $\frac{dc_3}{dt}$, angegeben in mol pro Stunde und Liter ($\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{L})$), wird **3** zu dem Zeitpunkt gebildet, wenn der Umsatz 96 % erreicht hat (Runden Sie Ihr Ergebnis auf fünf Nachkommastellen.)?
2. Geben Sie die Produktionsrate $\frac{dm_3}{dt}$ des Reaktors für **3** zu diesem Zeitpunkt in der Einheit kg/h an (Runden Sie Ihr Ergebnis auf zwei Nachkommastellen.).

Der Betrieb hat nun zwei Möglichkeiten, seinen Reaktor zu betreiben. Er kann den Reaktor zu $2/3$ befüllen, bis zur Reaktionstemperatur aufheizen, die Reaktion bis zu einem Umsatz von 96 % laufen lassen, abkühlen und schließlich das Reaktionsgemisch ablaufen lassen. Es wird angenommen, dass die „Rüstzeiten“

bei diesem „Batchbetrieb“ (absatzweise betriebener Reaktor) vor und nach der Reaktion jeweils 2 Stunden in Anspruch nehmen.

Alternativ könnte der Betrieb den Reaktor kontinuierlich betreiben und immer nur so viel Edukt nachführen und Reaktionsgemisch entnehmen, wie der Umsatzrate des Reaktors bei einem zu 96 % fortgeschrittenen Umsatz entspricht.

d) *Geben Sie für den Batchbetrieb die Produktrate von Verbindung 3 in Kilogramm pro Stunde an. Wie groß ist das Verhältnis der Produktrate im Batchbetrieb zu der im kontinuierlichen Betrieb?*

(Falls Sie die Aufgaben b) oder c) nicht beantwortet haben, nehmen Sie eine Reaktionszeit im Batchbetrieb von 5,5 Stunden und eine Produktionsrate von 30,6 kg/h an bei 96 % Umsatz an.)

Der Betrieb prüft zusätzlich, ob die Reaktion eventuell in einem Rohrreaktor gefahren werden kann. In diesen werden in das eine Ende die Edukte eingespeist und am anderen Ende das Produkt entnommen. Das Rohr sei zylindrisch mit einem Durchmesser von 10 cm. Die Strömung soll einem „Plugflow“ entsprechen, d.h. es kann angenommen werden, dass Volumenelemente, die in das Rohr eingespeist werden, als solche gleichmäßig durch das Rohr wandern. Der Betrieb möchte erreichen, dass der Rohrreaktor einen Umsatz von 96 % garantiert und die Produktivität derjenigen des absatzweise betriebenen Batchreaktors entspricht.

e) *Welche Länge muss der Rohrreaktor haben, damit Umsatz und Produktivitätsziele erreicht werden?*

(Falls Sie die Aufgaben d) und b) nicht beantwortet haben, nehmen Sie für den absatzweise betriebenen Reaktor eine Produktivität von 1000 kg/h bei einer Reaktionszeit von 5,5 Stunden an.)

Bei stark exothermen oder endothermen Reaktionen ist es nötig, einen großen Wärmetransport aus dem Reaktionsgemisch hinaus oder in das Reaktionsgemisch hinein zu garantieren. Der Wärmeübergang erfolgt dabei durch die Reaktorwand.

f) 1. *Berechnen Sie die Wärmedurchtrittsfläche für den Batchreaktor O_B .*
2. *Berechnen Sie die Wärmedurchtrittsfläche für den Rohrreaktor O_R .*
3. *Welches Verhältnis haben die Wärmedurchtrittsflächen beider Reaktortypen, und welchen Reaktortyp würden Sie für Reaktionen mit starker Wärmeentwicklung bevorzugen?*

(Sollten Sie Aufgabe e nicht bearbeitet haben, gehen Sie von einer Rohrlänge von 1000 m aus.)

Das Kühlsystem des kesselförmigen Reaktors ist so konzipiert, dass das den Kühlmantel durchströmende Wasser die Temperatur des Reaktorinhaltes konstant bei 90 °C hält. Das Kühlwasser tritt mit 25 °C in den Kühlmantel ein und verlässt ihn wieder mit 60 °C. Der Reaktor soll kontinuierlich bei einem zu 96 % fortgeschrittenen Umsatz mit der konstanten Produktrate, die in Aufgabe c) berechnet wurde, produzieren. Entsprechend der Produktrate wird dem Reaktor kontinuierlich ein Reaktionsgemisch, das zu 96 % aus Produkt 3 neben nicht

umgesetzten Edukten **1** und **2** besteht, mit einer Temperatur von 90 °C entnommen. Bei der Zufuhr der Verbindungen **1** und **2** werden zusätzlich die mit dem Reaktionsgemisch entnommenen Massen an **1** und **2** ersetzt. Aufgrund des großen Kesselvolumens wird vereinfachend angenommen, dass sich die Konzentrationen aller Verbindungen und die Produktionsrate nicht ändern. Die Temperatur der zugeführten Edukte **1** und **2** beträgt 20 °C.

Die molare Reaktionsenthalpie der exothermen Umsetzung von **1** und **2** zu **3** bei 90 °C betrage $\Delta H_R = -150$ kJ/mol. Die Verbindung **1** ist bei 20 °C ein Feststoff, Verbindung **2** ist eine Flüssigkeit. Die spezifischen Wärmekapazitäten von Wasser sowie der Verbindungen **1** und **2** betragen: $c_p(\text{Wasser}) = 4,18$ kJ/(kg·K), $c_p(\mathbf{1}, \text{fest}) = 1,6$ kJ/(kg·K), $c_p(\mathbf{1}, \text{flüssig}) = 2,4$ kJ/(kg·K) und $c_p(\mathbf{2}, \text{flüssig}) = 2,5$ kJ/(kg·K). Verbindung **1** hat eine Schmelztemperatur von 32,5 °C mit einer molaren Schmelzenthalpie von $\Delta H_s(\mathbf{1}) = 12,8$ kJ/mol.

Alle Wärmekapazitäten sowie die Dichten von Wasser ($\rho(\text{Wasser}) = 1$ kg/L) und die der Verbindungen **1**, **2** und **3** sollen als temperaturunabhängig angesehen werden. Vernachlässigen Sie Mischungseffekte und betrachten Sie die thermodynamischen Eigenschaften der Verbindungen **1**, **2** und **3** als unabhängig von einander. Der Druck im Kessel entspricht zu jeder Zeit dem konstanten Umgebungsdruck.

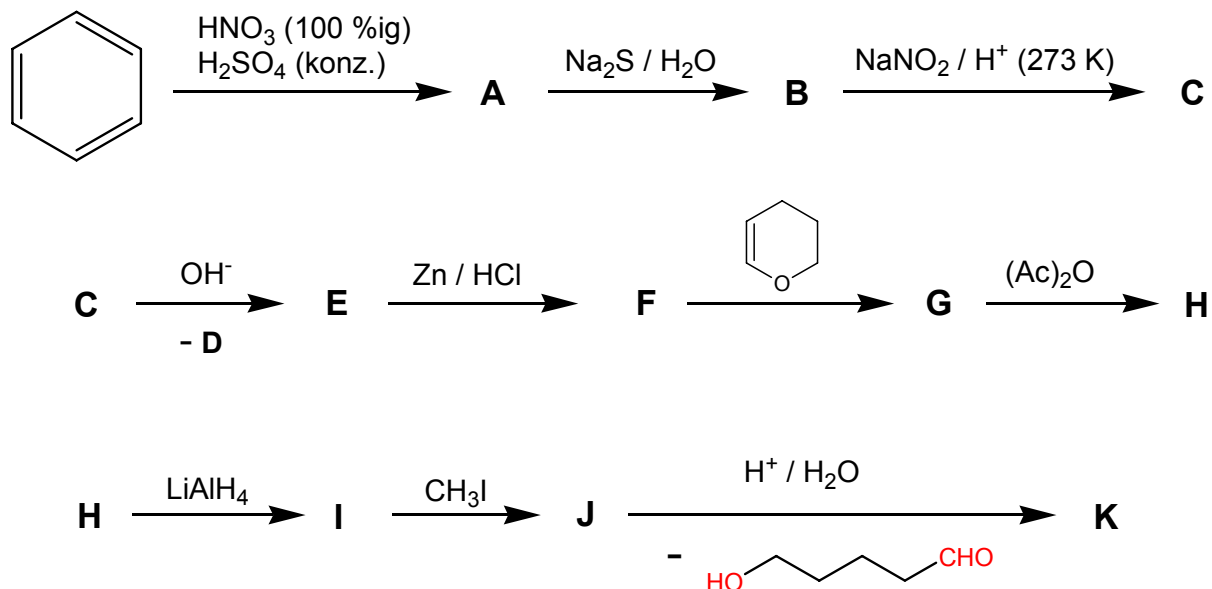
g)

- 1. Wie groß ist die Wärmemenge Q_R , die durch die exotherme Umsetzung pro Stunde frei wird?*
- 2. Berechnen Sie die Wärmemenge Q_V , die der Reaktor pro Stunde nach der Zugabe der Verbindungen **1** und **2** aufbringen muss.*
- 3. Berechnen Sie den Kühlwasserstrom pro Stunde (in der Einheit L/h), der durch den Kühlmantel fließt.*

(Sollten Sie Aufgabe c nicht gelöst haben, gehen Sie jeweils von einer Produktrate von 30,6 kg/h aus.)

Aufgabe 2-3 Eine mehrstufige Synthese

In einer Synthese über zehn Stufen soll ausgehend von Benzol ein tertiäres Amin als Zielverbindung **K** hergestellt werden.



Hinweise:

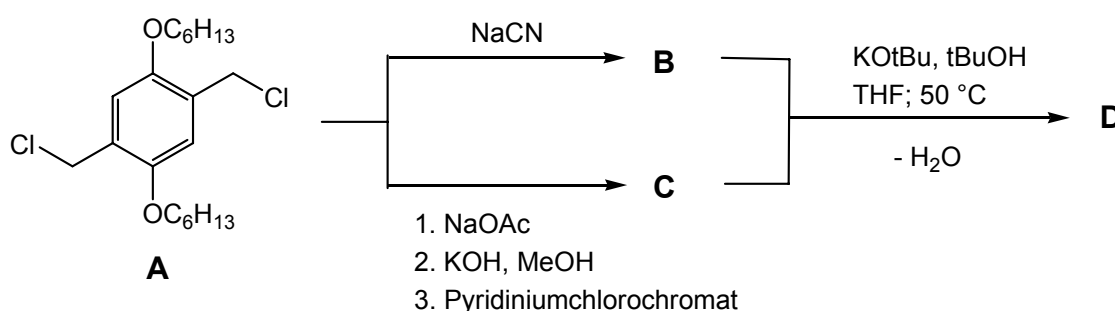
- Die Reaktionen werden so geführt, dass **A** als einzige Verbindung in C_{2v} -Symmetrie vorliegt.
- D** ist bei Standardbedingungen ein Gas.
- G** reagiert im Sinne der Hinsberg-Reaktion zu einem in Alkalilauge löslichen Sulfonamid.

- Ergänzen Sie das obige Reaktionsschema und geben Sie die Strukturformeln der Verbindungen **A** bis **K** an.
- Warum ist bei der Reaktion von Benzol zu **A** der Zusatz von konzentrierter Schwefelsäure erforderlich?
- Zeichnen Sie die Resonanzstrukturen der σ -Komplexe (Carbenium-Ionen) von Nitrobenzol für einen elektrophilen Angriff eines Zweitsubstituenten in ortho-, meta- und para-Stellung.
- Begründen Sie mit Hilfe der Resonanzstrukturen der σ -Komplexe und des M-Effektes (mesomerer Effekt) des Erstsubstituenten, warum **A** bei weiterer Substitution bevorzugt entsteht.
- Warum ist es im Verlauf der Synthese erforderlich, **F** mit 3,4-Dihydro-2H-pyran (C_5H_8O) zu **G** umzusetzen?

Aufgabe 2-4 Leuchtende Polymere

Als Alternative zu den gängigen LC-Displays wird seit einigen Jahren an der Entwicklung organischer Leuchtdioden geforscht. Eine Substanzklasse, die für den Einbau in LEDs in Frage kommt, sind konjugierte Polymere, die aufgrund ihrer Eigenschaften als organische Halbleiter aufgefasst werden können. Legt man eine Spannung an sie an, so emittieren sie Licht. Sie könnten in leichten, dünnen und biegsamen Displays Verwendung finden.

Durch Variation der Substituenten des Polymers lassen sich seine optischen und elektronischen Eigenschaften verändern. Ein Beispiel für einen Syntheseweg ist die folgende Darstellung des roten Polymers **D**. Hierbei wird im ersten Schritt **A** zu gleichen Teilen jeweils zu **B** bzw. **C** umgesetzt.



- Vervollständigen Sie das Reaktionsschema und geben Sie die Strukturformeln von **B**, **C** und **D** an. Zeichnen Sie im Fall von Polymeren mindestens eine sich wiederholende Struktureinheit.
- Unter welchem Namen ist die Reaktion von **B** und **C** zu **D** bekannt?
- Um welchen Polymerisationstyp handelt es sich bei der oben gezeigten Reaktion?
 - Wie ändert sich qualitativ die mittlere molare Masse M_n der Polymere als Funktion des Reaktionsfortschrittes? Dieser sei hier definiert als der Anteil der bereits geknüpften Bindungen relativ zur maximal möglichen Anzahl von Bindungen nach einer vollständigen Polymerisation.
- Warum ist es wichtig, dass **B** und **C** sehr gut gereinigt werden, bevor sie weiter zu **D** umgesetzt werden? Geben Sie mindestens zwei Gründe an.