**Life is a huge lab**



**THEORETISCHE**

**PRÜFUNG**

**25. Juli 2015**

**BAKU, AZERBAIJAN**

**MAX MUSTERMANN AUT-1**

**Allgemeine Anweisungen**

* Sie haben zur Lösung der Aufgaben 5 Stunden Zeit. Falls sie beim STOP-Zeichen die Arbeit nicht beenden, kann das aktuelle Beispiel mit null Punkten bewertet werden.
* Schreiben Sie Antworten und Berechnungen in die dafür vorgesehenen Kästchen. Zeigen Sie Ihren Lösungsweg, wo das verlangt ist.
* Verwenden Sie nur die zur Verfügung gestellten Stifte und Rechner.
* Als Konzeptpapier verwenden Sie die Rückseiten der Blätter. Dies wird nicht bewertet.
* Dieses Aufgabenheft umfasst 41 Seiten inklusive Antwortboxen, Deckblatt und Periodensystem.
* Bei Unklarheiten ist die offizielle englische Version auf Verlangen verfügbar.
* Wenn Sie auf die Toilette müssen, heben Sie Ihre Hand. Sie werden dorthin geleitet.
* **Nach dem STOP-Signal** geben Sie Ihr Aufgabenheft in das Kuvert ohne dieses zu verschließen und lassen Sie dieses auf Ihrem Tisch liegen. Verlassen Sie den Raum nicht ohne Erlaubnis.
* Sie haben zusätzliche 15 Minuten zum Lesen des Aufgabenheftes.
* Formeln, die zum Lösen einiger der Probleme nötig sind, finden Sie auf der nächsten Seite. **Physikalische Konstanten, Einheiten, Formeln und Gleichungen**

|  |  |
| --- | --- |
| Universelle Gaskonstante | *R =* 8,3145 J∙K–1∙mol–1 |
| Standarddruck | *p*° = 1 bar = 105 Pa = 750 mmHg |
| Atmosphärendruck | 1 atm = 1,013×105 Pa = 760 mmHg |
| Nullpunkt der Celsiusskala | 273,15 K |

|  |  |
| --- | --- |
| Reversibler adiabatischer Prozess eines idealen Gases |  |
| Bei einem adiabatischen Prozess an einem idealen Gas verrichtete Arbeit | *W* = *nCV* (*T*2 – *T*1) |
| Temperaturabhängigkeit der Inneren Energie | *U*(*T*2) = *U*(*T*1) + *CV* (*T*2 – *T*1) |
| Beziehung zwischen den molaren isobaren und isochoren Wärmekapazizäten eines idealen Gases | *Cp = CV + R* |
| Gibbs-Enthalpie | *G* = *H* – *TS* |
| Beziehung zwischen der Gleichgewichtskonstanten und der Gibbs- Standardreaktionsenthalpie |  |
| Abhängigkeit der Gibbs-Enthalpie vom Druck oder der Konzentration | ,  *a* = *c* / (1 mol/L) für Substanzen in Lösung, *a* = *p* / (1 bar) für Gase |
| Zeitliche Änderung der Gibbs-Enthalpie pro Volumen in einem System mit zwei chemischen Reaktionen mit den Reaktionsgeschwindigkeiten *r*1 und *r*2 |  |

**Problem 1. Neue und wohlweislich vergessene Kühlmitel**

**(8 Prozent der Gesamtpunkte)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Frage | 1 | | | 2 | | | 3 | 4 | | | | **Gesamt** |
| 1.1 | 1.2 | 1.3 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 4.1 | 4.2 | 4.3 | 4.4 |
| Teilpunkte | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 10 | 2 | 6 | 1 | **33** |

Die Suche nach einem idealen Kühlmittel für Kühlsysteme und Klimaanlagen zog im letzten Jahrhundert viel Aufmerksamkeit in Wissenschaft und Technik auf sich. Insgesamt wurden vier Generationen von Kühlmitteln entwickelt. Ammoniak, der ersten Generation zugehörig, wurde in den ältesten Kühlsystemen verwendet. Es wurde später durch FCKW (Fluorchlorkohlenwasser-stoffe) ersetzt – Derivate von Methan und Ethan mit den Substituenten Chlor und Fluor.

In der „Bakkonditsioner“-Fabrik in Baku wurde die erste sowjetische Serienproduktion der BK‑1500 Klimaanlage gestartet. In ihr kam ein Kühlmittel der zweiten Generation, Chlordifluormethan CHF2Cl, zum Einsatz.

In dieser Aufgabe werden Sie verschiedene Kühlmittel hinsichtlich ihrer thermodynamischen Eigenschaften vergleichen.

Erstes Klimagerät aus der Baku-Fabrik in einem Souvenierladen in der Altstadt („Icheri Sheher“)

Thermodynamische Eigenschaften verschiedener Kühlmittel

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Kühlmittel | Generation | Δ*H*vap / kJ·mol–1  (bei 280 K) | Cv (gas) /  J·K–1·mol–1 |
| NH3 | 1 | 21,3 | 26,7 |
| CHF2Cl | 2 | 20,0 | 48,8 |
| CF3CH2F | 3 | 22,1 | 79 |
| CF3CF=CH2 | 4 | 19,1 | 120 |

Betrachten Sie einen modellhaften Kühl-Kreisprozess in vier Schritten, der im folgenden p-U-Diagramm (Druck gegen Innere Energie) hervorgehoben ist.



Diagramm 1 (gestrichelte Linie = Phasenübergänge)

Im ersten Schritt (Linie 0-1) siedet das flüssige Kühlmittel bei konstantem Druck *p*1 und konstanter (Siede)temperatur *T*1 bis es vollständig verdampft ist. In diesem Schritt nimmt die Kühleinheit Wärme aus der Umgebung auf. Im zweiten Schritt wird das Kühlmittel adiabatisch reversibel komprimiert, wobei es sich auf Temperatur *T*2 aufheizt (Linie 1-2). Anschließend wird das komprimierte Kühlmittel im Kondensator bei konstantem Druck *p*2 gekühlt (Linie 2-3) und erreicht danach wieder den Ausgangszustand (Linie 3-0).

Nehmen Sie an, dass der Kreisprozess mit 1 mol Kühlmittel durchgeführt wird, das zu Beginn (Punkt 0) zur Gänze flüssig vorliegt. Es sind *T*1 = 280 К und *T*2 = 380 К. Der Kühlmitteldampf verhält sich wie ein ideales Gas. Die thermodynamischen Daten der Kühlmittel sind oben gegeben.

* 1. *Berechnen Sie für die Kühlmittel Ammoniak und Chlordifluormethan jeweils a) die Wärmemenge Q, die von der Kühleinheit beim Wärmeaustausch 0-1 aufgenommen wird, und b) die Arbeit W, die für die adiabatische Kompression 1-2 des Dampfs benötigt wird.*

|  |
| --- |
| Berechnungen  **Ammoniak**  *Q* = *W* =  **Chlordifluormethan**  *Q* = *W* = |

*1.2. Welche der folgenden Größe(n) bleibt/bleiben bei der adiabatischen Kompression konstant? Kreisen Sie Richtig(e) ein.*

*U H S G V*

Um die Energieeffizienz des Kühlprozesses bei verschiedenen Bedingungen und mit verschiedenen Kühlmitteln zu vergleichen, wird der *coefficient of performance* (*COP*) verwendet. Dieser ist definiert als das Verhältnis von der aus dem gekühlten System abgeführten Wärme zur Arbeit des Kompressors: *COP* = *Q*/*W*.

*1.3. Berechnen Sie die COP-Werte für den oben betrachteten Kreisprozess mit Ammoniak und Chlordifluormethan.*

|  |
| --- |
| Berechnungen  **Ammoniak**  *COP* =  **Chlordifluormethan**  *COP* = |

*2.1. Warum wurde seinerzeit Ammoniak in Haushaltskühlgeräten durch FCKW ersetzt? (Wählen Sie nur eine Antwort.)*

a) um die Energieeffizienz des Kreisprozesses zu erhöhen

b) weil die Dichte von Ammoniak unter gleichen Bedingungen geringer als die der Luft ist

c) aus sicherheitstechnischen Erwägungen

|  |
| --- |
|  |

Als klar geworden war, dass der Einsatz von FCKW zu irreparablen Schäden an der schützenden Ozonschicht in der Atmosphäre führt, suchte man nach alternativen Kühlmitteln. Die dritte, ozonfreundliche Kühlmittelgeneration wurde entwickelt. Es handelt sich dabei typischerweise um Fluoralkane.

*2.2. Worauf beruht die ozonschädigende Wirkung der FCKW? (Wählen Sie nur eine Antwort.)*

a) Das Ozonmolekül addiert leicht an die C–F-Bindung.

b) Die C–F-Bindung wird durch Strahlung leicht gespalten, wobei freie Radikale entstehen.

c) Das Ozonmolekül addiert leicht an die C–Cl-Bindung.

d) Die C–Cl-Bindung wird durch Strahlung leicht gespalten, wobei freie Radikale entstehen.

|  |
| --- |
|  |

Mit dem Kyoto-Protokoll aus 1997 mussten allerdings auch die Fluoralkane ersetzt werden, da sie sich in der Atmosphäre anreichern und dort durch starke IR-Absorption einen Anstieg der Temperatur bewirken (Treibhauseffekt). Kühlmittel der vierten Generation wie 2,3,3,3-Tetrafluorpropen CF3CF=CH2 wurden eingeführt und werden seither mehr und mehr verwendet.

*2.3. Warum verstärkt diese Verbindung den Treibhauseffekt weniger als Fluoralkane? (Wählen Sie nur eine Antwort.)*

a) Sie ist reaktiver und leichter abbaubar.

b) Sie reagiert bereitwillig mit Ozon.

c) Sie ist besser wasserlöslich.

|  |
| --- |
|  |

*3. Berechen Sie für den oben betrachteten Kreisprozess die COP-Werte für zwei Kühlmittel der dritten bzw. vierten Generation: CF3CH2F und CF3CF=CH2. Wurde die Energieffizienz im Vergleich zu CHF2Cl erhöht? Wählen Sie jeweils „Yes“ oder „No“.*

|  |
| --- |
| Berechnungen  **CF3CH2F**  *COP* =  **Yes** **No**  **CF3CF=CH2**  *COP* =  **Yes** **No** |

Im Unterschied zu Haushaltsgeräten verwenden industrielle Kühlsysteme nach wie vor oft Ammoniak. Es trägt weder zum Treibhauseffekt bei noch schädigt es die Ozonschicht. Industrieanlagen können von beachtlicher Größe sein und verursachen hohe Kosten. Ihrer Konstruktion geht daher eine Modellierung voraus, welche viele verschiedene Faktoren berücksichtigt. In realen Systemen liegt zu Beginn des Wärmeaustauschs mit der Umgebung (Punkt 0 in untenstehendem Diagramm) ein Teil des Kühlmittels bereits gasförmig vor. Am Ende (Punkt 1) ist es stets über seinen Siedepunkt hinaus erhitzt.



Diagramm 2 (gestrichelte Linie = Phasenübergänge)

Betrachten Sie wieder einen Kreisprozess mit 1 mol Ammoniak (thermodynamische Daten: Verdampfungsenthalpie Δ*H*vap = 23,35 kJ·mol–1 bei *T*vap = 239,8 К (= Siedetemperatur bei 1 bar); Wärmekapazitäten: flüssig *C*v(liq) = 77 J·K–1·mol–1, gasförmig *C*v(gas) = 26,7 J·K–1·mol–1. Nehmen Sie an, dass die Wärmekapazitäten temperaturunabhängig sind und sich der Dampf wie ein ideales Gas verhält. Die Temperaturabhängigkeit des Sättigungsdampfdrucks von Ammoniak wird durch folgende empirische Gleichung beschrieben:

log (*p*/bar) = 4,87 – 1114 / (*T*/K – 10,4).

Im ersten Schritt des Kreisprozesses (Linie 0-1 in Diagramm 2) nimmt die Gleichgewichtsmischung von flüssigem und gasförmigem Kühlmittel bei konstantem Druck   
*p*1 = 3,0 bar Wärme aus der Umgebung auf. Das Kühlmittel verdampft vollständig und überhitzt sich auf die Temperatur *T*1 = 275 K. Zu Beginn des Kreisprozesses (Punkt 0) beträgt der Stoffmengenanteil an gasförmigem Ammoniak *x* = 0,13.

*4.1. Berechnen Sie die Anfangstemperatur T0 des Kühlmittels, seine Volumenänderung ΔV und die vom Kühlsystem in diesem Schritt aufgenommene Wärme Q. Bedenken Sie, dass die Temperaturabhängigkeit der Verdampfungsenthalpie ΔHvap* ***nicht*** *vernachlässigt werden kann.*

|  |
| --- |
| Berechnungen:  *T*0 =  Δ*V* =  *Q* = |

Im Anschluss wird das Kühlmittel reversibel adiabatisch komprimiert, wobei es sich auf die Temperatur *T*2 = 393 К erwärmt (Linie 1-2).

*4.2. Berechnen Sie die Arbeit W, die zur Kompression erforderlich ist und berechnen Sie den COP-Wert für das System. Falls Sie in 4.1 keine Lösung erhalten haben, verwenden Sie Q = 20,15 kJ.*

|  |
| --- |
| Berechnungen:  *W* =  *COP* = |

Im nächsten Schritt (entsprechend Linie 2-3 im Diagramm) wird das Kühlmittel im Kondensator bei konstantem Druck gekühlt. Danach kehrt es durch adiabatische Expansion ohne Arbeit in den Anfangszustand zurück (Linie 3-0).

*4.3. Bestimmen Sie die Temperatur T3 an Punkt 3, auf die gekühlt wird.*

|  |
| --- |
| Berechnung:  *T*3 = |

Bei der Herstellung von Kühleinheiten ist es nötig, Umweltfaktoren zu berücksichtigen: Wird ein Kondensator durch die Umgebungsluft gekühlt, steigt die Temperatur *T*3 mit der Umgebungstemperatur.

*4.4. In welcher Weise wird sich der COP-Wert bei Erhöhung von T3 verändern, wenn T0, T1, T2 gleich bleiben?*

a) zunehmen

b) gleich bleiben

c) abnehmen

|  |
| --- |
|  |

**Problem 2. Kopplung chemischer Reaktionen**

**(7 Prozent der Gesamtpunkte)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Frage | 1 | | | 2 | | 3 | **Gesamt** |
| 1.1 | 1.2 | 1.3 | 2.1 | 2.2 |
| Teilpunkte | 4 | 6 | 4 | 3 | 6 | 2 | **25** |

I.Prigogine (links) N. Shilov W. Ostwald

Wenn in einem System eine Reaktion das Ablaufen einer anderen ermöglicht, so nennt man diese Reaktionen gekoppelt. Ilya Prigogine, Nobelpreisträger für Chemie (1977), verwendete in seinen Werken häufig das Konzept gekoppelter Reaktionen. Kopplung von Reaktionen ist eine wesentliche Eigenschaft lebender Systeme bis hin zum menschlichen Körper.

Doch wie kann eine Reaktion eine andere ermöglichen? In dieser Aufgabe werden Sie verschiedene Möglichkeiten der Kopplung untersuchen.

**(I) „Chemische Kopplung“**

„Zur Chemischen Kopplung“ war der Titel der Doktorarbeit, die vom russischen Chemiker N. Shilov 1905 verteidigt wurde. Er war Doktorand von Wilhelm Ostwald und beschrieb das folgende Schema von Reaktionen:

Substanz ***А*** reagiert selbst nicht mit ***Ac****.* In Anwesenheit eines dritten Stoffes ***In*** (Induktor) läuft die Reaktion von ***А*** mit ***Ac*** hingegen ab:



***In***ist kein Katalysator! Seine Konzentration sinkt im Verlauf der Reaktion.

Gemäß dem von Shilov vorgeschlagenen Schema reagiert ***Ac*** nicht mit ***A*** selbst, sondern mit dem Zwischenprodukt ***R*** der Reaktion von ***А*** mit ***In****.*Eine andere, damit konkurrierende Reaktion bildet aus ***R*** das Nebenprodukt ***P*2**.

 (3)

# α und β sind stöchiometrische Koeffizienten. Die anderen Koeffizienten sowie die Reaktionsordnungen in Bezug auf alle Reaktanten sind in allen drei Reaktionen gleich eins.

In Shilovs Experiment erhöhte sich das Verhältnis der verbrauchten Stoffmengen von ***Ac*** und ***In***,  bei konstanter Anfangskonzentration ([***In***]0 = const.) mit steigender Anfangskonzentration [***Ac***]0 bis zu einem konstanten Wert.

*1.1. Wie groß war dieser Grenzwert von I bei [****Ac****]0 → ∞, [****In****]0 = const?*

|  |
| --- |
| Kurze Erklärung (deutsch oder englisch möglich)  *I*∞ = |

*1.2. Leiten Sie (mit Hilfe der Steady-State-Näherung) einen Ausdruck für I her. Zeichnen Sie die Kurve von I als Funktion von [****In****]0 bei [****Ac****]0 = const. Nehmen Sie an, dass* ***In*** *vollständig reagiert und* ***Аc*** *im Überschuss vorliegt.*

|  |
| --- |
| Berechnung  Graph |

Was wäre, wenn Shilovs Schema nicht richtig wäre und ***In*** als herkömmlicher Katalysator von Reaktion (2) fungierte, gleichzeitig aber mit ***A*** reagiert und seine Konzentration dadurch abnimmt? In diesem Fall wäre das Reaktionsschema:

 (4)

*1.3. Wie groß ist der Grenzwert von I für das Reaktionsschema (4) bei [****Ac****]0 → ∞, [****In****]0 = const?*

|  |
| --- |
| Kurze Erklärung (deutsch oder englisch möglich)  *I*∞ = |

**(II) „Kinetische Kopplung“**

Die Gibbs-Standardreaktionsenthalpie der Gasphasenreaktion

 (5)

ist positiv, Δ*G*°(5) = 66 kJ⋅mol–1 bei *Т* = 600 К.

*2.1. Wie groß ist das Verhältnis der Reaktionsgeschwindigkeiten für Hin- und Rückreaktion  bei dieser Temperatur, Standarddrücken von H2 und HBr und gleichen Drücken von H und Br?*

|  |
| --- |
| Berechnung:  = |

Sollten Sie hier keine Lösung erhalten haben, verwenden Sie für weitere Rechnungen den Wert  
*r*5/*r*–5 = 3,14⋅10–7.

Mit Hilfe von Reaktion (6), die im System gleichzeitig auftritt, läuft Reaktion (5) in Summe nach rechts ab:



*k*5, *k*–5, *k*6 sind die Geschwindigkeitskonstanten für Hin- und Rückreaktion (5) und Reaktion (6).

Der beschriebene Sachverhalt ist die *kinetische* *Kopplung* zweier Reaktionen.

Die Drücke seien mit *p*(H2) = *p*(Br2) = *p*(HBr) = 1 bar konstant. Für die Radikale erreichen *p*(H) und *p*(Br) Steady-State-Werte. Die Geschwindigkeitskonstante *k*6 sei 10 mal größer als *k*–5.

*2.2. Berechnen Sie ΔG(5) sowie  unter diesen Bedingungen.*

|  |
| --- |
| Berechnungen  Δ*G*(5) =  = |

**(III) „Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik beschränkt die Kopplung“**

Gemäß dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik müssen zwei simultan ablaufende chemische Reaktionen die Gibbs-Enthalpie *G*syst des Systems senken: 

Dabei kann eine dieser Reaktionen eine positive Gibbs-Enthalpie haben und durch die Kopplung mit der anderen dennoch ablaufen. Die zweite Reaktion muss dafür eine negative Gibbs-Enthalpie aufweisen und die Bedingung des zweiten Hauptsatzes muss erfüllt werden. Betrachten Sie folgendes Beispiel:

Die Synthese von Harnstoff unter bestimmten Bedingungen

2NH3 + CO2 → (NH2)2CO + H2O (7)

Δ*G*(7) = 46,0 kJ⋅mol–1

sei mit der Oxidation von Glucose unter denselben Bedingungen gekoppelt.

1/6 C6H12O6 + O2 → CO2 + H2O (8)

Δ*G*(8) = –481,2 kJ⋅mol–1,

*r*(8) = 6,0⋅10–8 M⋅min–1.

Nur diese beiden (Brutto)reaktionen werden im Folgenden berücksichtigt.

*3. Wie hoch ist die maximale Geschwindigkeit von Reaktion (7) bei Kopplung mit Reaktion (8) gemäß dem Zweiten Hauptsatz?*

|  |
| --- |
| Berechnung  *r*7(max) = |

**Aufgabe 3. Zwei Bindungsstellen – Hemmung oder Kooperation?**

**(7 Prozent der Gesamtpunkte)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Frage | 1 | | 2 | | | | **Gesamt** |
| 1.1 | 1.2 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 |
| Teilpunkte | 3 | 2 | 8 | 3 | 6 | 6 | **28** |

Viele chemische Reaktionen in lebenden Organismen beinhalten die Formation von „*host-guest*“ Komplexen, bei denen eines oder mehrere *guest*-Moleküle an das *host*-Molekül reversibel binden. Betrachten Sie ein *host*-Molekül ***H*** mit zwei Bindungsstellen *a* und *b* mit unterschiedlichen Affinitäten für das *guest*-Molekül ***G***.

***H*** + ***G***  ***HGa*** 

***H*** + ***G***  ***HGb***  *Kb* ≠ *Ka*.

In ***HG*a** und ***HG*b** ist das *guest*-Molekül an die Bindungsstellen *a* bzw. *b* gebunden. *Ka* und *Kb* sind die Bindungskonstanten der jeweiligen Komplexbildungsreaktionen, eckige Klammern bezeichnen molare Konzentrationen.

Die Bindung eines Moleküls ***G*** an ***H*** kann die Affinität der zweiten Bindungsstelle für ***G*** verändern. Diese Veränderung kann durch die „Kopplungskonstante“ β beschrieben werden, welche den Einfluss der Bindungsstellen aufeinander quantifiziert. Sie ist definiert als:

***HGa*** + ***G***  ***HG*2** 

***HG*2** ist der Komplex mit zwei *guest*-Molekülen.

*1.1. Bestimmen Sie jeweils den Wertebereich (oder Wert, falls notwendig) von β, der zu den drei möglichen Interaktionen zwischen den Bindungsstellen gehört:*

a) Kooperation (Bindung eines *guest*-Moleküls erleichtert die Bindung eines zweiten);

b) Hemmung (Bindung eines *guest*-Moleküls erschwert die Bindung eines zweiten);

c) Unabhängigkeit (keine Wechselwirkung).

|  |
| --- |
| Kooperation:  Hemmung:  Unabhängigkeit: |

*1.2. Geben Sie die Gleichgewichtskonstante der Reaktion* ***HGb*** *+* ***G*** ** ***HG2*** *in Abhängigkeit der Bindungskonstante(n) und der Kopplungskonstante an.*

|  |
| --- |
| Berechnung:  ***K*** = |

2.1. Es wurde eine Lösung mit den Anfangskonzentrationen [***H***]0 = 1 M und [***G***]0 = 2 M hergestellt. Nach Abschluss der Reaktionen war die Konzentration von ***H*** um den Faktor 10 verringert, diejenige von ***G*** um den Faktor 4. Für dieses *host-guest*-System gilt *Kb* = 2*Ka*.

*Berechnen Sie die Konzentrationen von allen anderen Spezies in der Lösung, die Bindungskonstante Ka sowie die Konstante β.*

|  |
| --- |
| Berechnung:  [***HGa***] = [***HGb***] = [***HG*2**] =  *Ka* =  β = |

Falls Sie diese Aufgabe nicht lösen können, verwenden Sie für die weiteren Berechnungen die Werste *Ka* = 3,14 und β = 2,72.

*2.2. Geben Sie die richtige Reihenfolge der molaren Gibbs-Standardbildungsenthalpie für den* host***H*** *und alle* host-guest*-Komplexe von* ***H*** *und* ***G*** *an. Schreiben dafür Sie die entsprechenden Bezeichnungen neben die jeweiligen Linien.*

|  |
| --- |
|  |

2.3. Eine unbekannte Menge ***G*** wurde mit 1 mol von ***H*** gemischt und in Wasser aufgelöst. Die Lösung wurde auf 1 L aufgefüllt. Die Anzahl der komplett gebundenen Komplexe ***HG2*** in der Lösung ist gleich der Summe der einfach gebundenen Komplexe ***HG***. Die Werte der Bindungskonstanten *Ka* und *Kb* sowie der Konstanten β sind gleich denen in Frage 2.1.

*Berechnen Sie die ursprüngliche Menge* ***G*** *(in mol).*

|  |
| --- |
| Berechnung:  *n*0(*G*) = |

2.4. *Wie sind die Gleichgewichtszusammensetzungen der Lösung, wenn a) β = 0 und b) β sehr groß (β → ∞) wird?* Die Werte der Bindungskonstanten *Ka* und *K* sowie der Anfangskonzentrationen von ***H*** und ***G*** sind gleich denen in Frage 2.1.

|  |
| --- |
| β = 0  Berechnung:  [***H***] = [***G***] = [***HGa***] = [***HGb***] = [***HG*2**] =  β → ∞  Berechnung (oder schriftliche Begründung):  [***H***] = [***G***] = [***HGa***] = [***HGb***] =   [***HG*2**] = |

**Aufgabe 4. Von einem gelben Pulver zum anderen: Ein anorganisches Rätsel**

# (6 Prozente der Gesamtpunkte)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Frage | 1 | 2 | 3 | 4 | Gesamt |
| Teilpunkte | 8 | 8 | 3 | 5 | 24 |

Die binäre gelbe Verbindung **X1** wird vollständig in heißer konzentrierter Salpetersäure aufgelöst. Dabei entsteht ein Gas, das 1,586 mal dichter als Luft ist. Bei der Zugabe eines Überschusses an Bariumchlorid zu dieser Lösung entsteht ein weißer Niederschlag **X2**, der abfiltriert wird. Das Filtrat wird mit einem Überschuss von Silbersulfat versetzt, wobei zwei Feststoffe **X2** und **X3** ausfallen, die ebenfalls abfiltriert werden. Zu diesem zweiten Filtrat wird tropfenweise eine Lösung von Natriumhydroxid zugegeben, bis das Filtrat ungefähr neutral ist (ca. pH 7). Dabei kristallisiert ein gelbes Pulver **X4** (enthält 77,31 Massen-% Ag) aus. Die erhaltene Masse von **X4** ist ca. 2,4 mal größer als die des Niederschlags **X2** aus der ersten Fällung.

*1. Bestimmen Sie die Summenformeln von* **X1** – **X4**.

|  |
| --- |
| Berechnungen:  **X1** = **X2** = **X3** = **X4** = |

*2. Bestimmen Sie die Summenformel des Gases und geben Sie für alle Reaktionen abgestimmte Reaktionsgleichungen in ionischer oder nicht-ionischer Form an.*

|  |
| --- |
| Berechnungen:  Summenformel des Gases \_\_\_\_\_\_\_\_  Auflösen von **X1**  Bildung von **X2**  Bildung von **X**2 und **X3**  Zugabe von NaOH und Bildung von **X4** |

3. In der Struktur von **X1** befinden sich alle Atome eines der Elemente in äquivalenten Positionen. *Zeichnen Sie die Struktur von* **X**1.

|  |
| --- |
|  |

*4. Welche Produkte entstehen bei der Reaktion von* **X1** *mit:*

*a) einem Überschuss an Sauerstoff;*

*b) einem Überschuss an heißer, konzentrierter Schwefelsäure;*

*c) festem KClO3 beim Verreiben?*

*Schreiben Sie die abgestimmten Reaktionsgleichungen auf.*

|  |
| --- |
| a)  b)  c) |

# Aufgabe 5. Essentielle Glucose

**(8 Prozent der Gesamtpunkte)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Frage | 1 | | | | | | 2 | | | | | **Gesamt** |
| 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 |  |
| Teilpunkte | 2 | 3 | 6 | 4 | 6 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 34 |

# Kohlenhydrate sind die wichtigste Energiequelle für lebende Zellen. Das Monosaccharid Glucose versorgt eine lebende Zelle mit Energie; für Personen mit Diabetes kann diese Substanz jedoch gefährlich sein. Ein hoher Glucosespiegel kann zu Herz- und Kreislauferkrankungen oder sogar zum Tod führen. Aus diesem Grunde verzichten diese Personen auf den Konsum von großen Mengen Kohlenhydraten und insbesondere von Glucose.

**1. Bestimmung von reduzierenden Zuckern in Fruchtsaft**

|  |  |
| --- | --- |
| Ein Verfahren zur Bestimmung reduzierender Zucker in verschiedenen Proben basiert auf dem Fehling-Reagenz. 10,00-mL eines Fruchtsafts wurden in ein Titrationsgefäß überführt und das Fehling-Reagenz wurde zugegeben. Nehmen Sie an, dass die ursprüngliche Probe ausschließlich Glucose und Fructose enthält. Das Fehling-Reagenz wurde durch Mischen von 50,00 mL einer 0,04000 M Kupfersulfat-Lösung (Lösung A) und Kaliumnatriumtartrat sowie Natriumhydroxid (Lösung B) hergestellt. Die so erhaltene Reaktionslösung C wurde erhitzt und es bildete sich ein roter Niederschlag. | Glucose |

1.1. *Schreiben Sie die abgestimmte ionische Gleichung für die Reaktion beim Erhitzen der   
Lösung C. Verwenden Sie Cu2+ für die ursprüngliche Kupferlösung.*

|  |
| --- |
|  |

Anschließend wurden 10 mL einer 10%-igen Kaliumiodidlösung und 1 M Schwefelsäure zugegeben. Das Gefäß wurde zugedeckt an einen dunklen Ort gestellt. Das überschüssige Iod wurde mit einer 0,05078 М Natriumthiosulfatlösung titriert. Zum Erreichen des Endpunktes wurde 11,87 mL Maßlösung verbraucht.

1.2. *Schreiben Sie die abgestimmte(n) Reaktionsgleichung(en) (in molekularer oder ionischer Schreibweise) für alle Reaktionen, die im Titrationsgefäß ablaufen.*

|  |
| --- |
|  |

1.3. *Nehmen Sie an, dass unter den obigen Versuchsbedingungen Fructose vollständig in Glucose umgewandelt wurde; berechnen Sie die Gesamtmasse der Zucker (in g/L) in dem Fruchtsaft.   
Mw = 180,16 g/mol.*

|  |
| --- |
| Gesamtmasse = |

Ein weiteres 10,00-mL Aliquot desselben Fruchtsafts wurde mit 10,00 mL einer angesäuerten Kaliumiodat(V)-Lösung (0,01502 М) und 10 mL einer 10 %-igen Kaliumiodidlösung versetzt. Nachdem sich die Lösung braun verfärbt hatte, fügte man einen Überschuss an Natriumhydroxidlösung zu. Das Titrationsgefäß wurde mit einem Uhrglas bedeckt und an einen dunklen Ort gestellt. Die so erhaltene Lösung wurde angesäuert und mit einer 0,01089 M Natriumthiosulfatlösung titriert. Der durchschnittliche Verbrauch an Maßlösung bei der Titration betrug 23,43 mL. Beachten Sie, dass unter den beschriebenen Reaktionsbedingungen Fructose nicht in Glucose umgewandelt wird.

1.4. *Geben Sie abgestimmte Gleichungen (in molekularer oder ionischer Schreibweise) für alle beschriebenen Reaktionen an.*

|  |
| --- |
|  |

1.5. *Berechnen Sie die Gesamtmasse an Glucose und Fructose im Fruchstaft (in g/L).*

|  |
| --- |
| Gesamtmasse Glucose =  Gesamtmasse Fructose = |

1.6. Eine Broteinheit (bread exchange unit, 1 BEU) entspricht einem Gehalt von 12 g verdaubaren Kohlenhydraten im Produkt.

*Wieviele BEU sind in einem Glas Fruchtsaft (200 mL) enthalten?*

|  |
| --- |
|  |

**2. Krankheitsdiagnostik**

2-Desoxy-2-(18F)fluor-D-glucose (FDG), ein Glucosederivat, ist das häufigste Radiopharmazeutikum zur Diagnose von Krebs mittels Positronemissionstomographie. Der erste Schritt bei der Herstellung von FDG ist die Gewinnung des Radionuklids Fluor-18 mittels einer Kernreaktion in einem Cyclotron. Der zweite Schritt ist eine radiochemische Synthese: Fluor-18 wird in die D-Glucose durch nucleophile Substitution eingeführt. Injiziert man   
2-Desoxy-2-(18F)fluor-D-glucose einem Patienten, so sammelt sich FDG bevorzugt in den Zellen der bösartigen Tumoren; dieser Vorgang ist begleitet durch Zerfall des Fluor-18. Dieses Radionuklid ist ein β+-Strahler – der Kern emittiert ein Positron (Anti-Elektron). Die Annihilation eines Positrons mit einem Elektron wird detektiert. Dies erlaubt eine genaue Bestimmung der Größe und des Typs des Tumors.

2.1. *Vervollständigen Sie die Kernreaktionen, die zur Bildung verschiedener Fluorisotope führen.*

|  |
| --- |
| a) 18O +  → 18F +…  b) … +  → 18F + α  c) 19F +  → 20F + …  d) 16O + … → 18F +  + *n* |

2.2. Die Art des Zerfalls von instabilen leichten Kernen hängt vom Verhältnis zwischen der Zahl an Neutronen und Protonen im Kern ab. Ist dieses Verhältnis größer als das für stabile Isotope, findet ein β–-Zerfall statt. Ist es kleiner, erfolgt ein β+-Zerfall.

*Bestimmen Sie die Zerfallsart für die Kerne in der Tabelle:*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Kern | 11С | 20F | 17F | 14C |
| Zerfallsart |  |  |  |  |

Erfolgt die Fluor-18-Herstellung nach Kernreaktion (a), so wird als Substrat mit H218O angereichertes Wasser verwendet. Die Anwesenheit von normalem H216O führt zu einer Nebenreaktion mit 16O, bei der das Isotop 17F gebildet wird.

2.3. Es ist bekannt, dass innerhalb von fünf Minuten nach Ende der Bestrahlung das Verhältnis der Radioaktivitäten von 18F zu 17F gleich 105 ist.

***Berechnen Sie*** *den Massenanteil H218O im Zielmaterial. (Nehmen Sie an, dass die Bestrahlungszeit kurz ist; weiterhin nehmen Sie an, dass die Radioaktivität jedes Isotops proportional zur Ausbeute der Kernreaktion und zum Stoffmengenanteil einer Komponente im bestrahlten Zielmaterial ist). t1/2(18F) = 109,7 Minuten, t1/2(17F) = 65 Sekunden. Das Verhältnis der Ausbeuten der Kernreaktionen ist*  *= 144,7.*

|  |
| --- |
|  |

2.4. *Berechnen Sie die Ausbeute an markierter D-Glucose mit Fluor-18 unter der Voraussetzung, dass die anfängliche Radioaktivität einer Fluor-18-Probe 600,0 MBq beträgt und die der erhaltenen 2-Desoxy-2-(18F)fluor-D-glucose 528,2 МBq ist. Die Synthesedauer ist 3,5 Minuten.*

|  |
| --- |
| η = |

2.5. Die biologische Halbwertszeit (durch die Ausscheidungsorgane) der 2-Desoxy-2-(18F)fluor-D-glucose beträgt 120,0 Minuten.

*Wieviel Radioaktivität (in MBq) verbleibt im Patienten zehn Stunden nach der Injektion von FDG, welches die Anfangsradioaktivität von 450,0 MBq hatte?*

|  |
| --- |
|  |

# Aufgabe 6. Brot ist Leben

**(8 Prozent der Gesamtpunkte)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Frage | 1 | 2 | 3 | **Gesamt** |
| Teilpunkte | 28 | 4 | 8 | **40** |

Wenn man an einer Bäckerei vorbeigeht, wird man durch den Geruch von frischem Brot angehalten. Ein Romanheld sagte bei einer ähnlichen Gelegenheit: „Wenn du mir sagst, dass das nicht perfekt ist, bist du für immer mein Feind”. Die Hauptkomponente des Brotaromas wurde 1969 als Verbindung **X** identifiziert. Diese Substanz liegt im Gleichgewicht mit ihrem Tautomeren **Y** im Verhältnis 2:1 vor. Leider sind beide Formen instabil, sodass Brot bereits nach wenigen Stunden seinen angenehmen Geruch verliert.

Die tautomere Mischung von **X** und **Y** wurde 1993 ausgehend von Piperidin gemäß Schema 1 synthetisiert. Es ist zu beachten, dass zunächst das Verhältnis von **X** zu **Y** 1:4 beträgt; nach längerem Stehen verändert sich das Verhältnis langsam zum Gleichgewichtswert.

Schema 1.



Verbindung **B** besitzt eine 3-zählige Symmetrieachse (d.h. Drehung um 120° ergibt ein Molekül, welches sich vom ursprünglichen nicht unterscheiden lässt). Diese Verbindung steht im Gleichgewicht mit seinem Diastereomeren **C**. Die Umwandlung dieser beiden Formen ineinander erfolgt über die Zwischenstufe **A**, welche auch ein Zwischenprodukt bei der Bildung von **B** und **C**, und außerdem bei der Umwandlung von **B** und **C** in **D** ist. Verbindungen **A**, **B** und **C** haben die gleiche Elementarzusammensetzung: ωC = 72,24 %, ωH = 10,91 %, ωN = 16,85 %.

1. *Zeichnen Sie Strukturformeln der Verbindungen* ***A-E****,* ***X****,* ***Y****.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **A** | **B** | **C** |
| **D** | **E** | **X** |
| **Y** |  |  |

Bei Behandlung der Verbindung **E** mit dem CH3Li⋅LiBr Komplex in (C2H5)2O bei 0 °C entsteht keines der gewünschten Produkte **X** und **Y**. Stattdessen bildet sich zunächst ein gelber Niederschlag **F**. Nach wässriger Aufarbeitung des Niederschlages erhält man eine Mischung der Verbindung **E** mit seinem Tautomeren **G.**

2. *Zeichnen Sie die Strukturformeln der Verbindungen* ***F*** *und* ***G****.*

|  |  |
| --- | --- |
| **F** | **G** |

Eine weitere Synthese der Verbindung **X** geht von einem Derivat **H** der Pipecolinsäure aus. Es hat sich gezeigt, dass **X** nach Schema 2 erhalten werden kann.

Schema 2.



3. *Zeichnen Sie die Strukturformeln der Verbindungen* ***I*** *und* ***J****.*

|  |  |
| --- | --- |
| **I** | **J** |

**Aufgabe 7. Nicht nur Brot allein**

**(8 Prozent der Gesamtpunkte)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Frage | 1 | 2 | 3 | 4 | **Gesamt** |
| Teilpunkte | 8 | 24 | 2 | 16 | **50** |

Der Granatapfel wird in Aserbaidschan, berühmt für sein Gemüse, „König der Früchte“ genannt. In vielen Religionen wird der Granatapfel als Symbol für Wohlstand, Gerechtigkeit, Hoffnung auf ewiges Leben sowie als Paradiesfrucht verehrt.

1878 wurde das Alkaloid ***Pelletierin*** erstmals aus der Rinde des Granatapfelbaumes (*Punica granatum* L., *Lythraceae*) isoliert. Dieses Alkaloid wird traditionellerweise als Antiwurmmittel verwendet. Ursprünglich wurde **XW** (3-(Piperidin-2-yl)propanal) fälschlicherweise als Struktur für Pelletierin vorgeschlagen. Mittlerweile wurde der Strukturvorschlag **XS**   
((*S*)-1-(Piperidin-2-yl)propan-2-on) als Strukturvorschlag für Pelletierin akzeptiert.



*1. Zeichnen Sie die Strukturformeln für* ***XW*** *und* ***XS****.   
Beachten Sie die Stereochemie bei* ***XS****.*

|  |  |
| --- | --- |
| **XW**  (3-(Piperidin-2-yl)propanal) | **XS**  (*S*)-1-(Piperidin-2-yl)propan-2-on |

Die unten beschriebene Synthese von natürlichem Pelletierin (**XS**) geht von Nortropanol **A** aus:



*2. Zeichnen Sie die Strukturformeln für* ***B-G*** *(mit Stereochemie).*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **B** | **C** | **D** |
| **E** | **F** | **G** |

3. Für die Synthese von Pelletierin wurde lediglich das Stereoisomer Nortropanol **A** verwendet.

*Wieviele Stereoisomere für Verbindung* ***A*** *(inklusive* ***A****) gibt es?*

Ignorieren Sie das chirale Zentrum am Stickstoff-Atom.

|  |
| --- |
| Anzahl der möglichen Stereoisomere von **A**: |

Das Enantiomer von **XS** wurde unter Verwendung des chiralen Stoffs *tert*-Butansulfinamid (**H**) synthetisiert:



4. *Zeichnen Sie die Strukturformeln für* ***I-L*** *(mit Stereochemie).*

|  |  |
| --- | --- |
| **I** | **J** |
| **K** | **L** |

**Aufgabe 8. Erdöl zum Leben und Leben nach dem Erdöl**

**(8 Prozent der Gesamtpunkte)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Frage | 1 | | | | | 2 | 3 | 4 | **Gesamt** |
| 1a | 1b | 1c | 1d | 1e |
| Teilpunkte | 1 | 4 | 4 | 3 | 12 | 5 | 13 | 13 | **55** |

### Описание: C:\Users\Булат\Desktop\Баку_2015\Oil_Rocks_near_Baku.jpgAserbaidschan ist für seine großflächigen Öl- und Gasfelder bekannt. Die erste Ölbohrung wurde 1846 in Bibi-Heybat vorgenommen, 13 Jahre vor der ersten kommerziellen Ölbohrung in Pennsylvania (USA). Dieser Meilenstein in der Geschichte Aserbaidschans wird als Beginn der modernen Ölindustrie angesehen, dem heute der führenden Sektor der Welt­wirtschaft. Derzeit werden in Aserbaidschan Technologien zur Ölbohrung an Land und in Schelfmeeren entwickelt. Obwohl eine ganze Reihe von Vorsichtsmaßnahmen getroffen wird, besteht während der Förderung, dem Transport und der Verarbeitung des Öls stets die Gefahr einer Verschmutzung der Umwelt mit Kohlenwasserstoffen.

In dieser Aufgabe werden verschiedene Methoden zur Beseitigung einer Ölpest und spezifische dabei involvierte metabolische Abbauwege angesprochen.

Der Einsatz komplexer Lösungsmittel (Dispersionsmittel) zum Beseitigen von ausgetretenem Öl ist einer der vielversprechendsten Ansätze. Die organische Verbindung **X** (11,94 Massen-% H) ist ein typischer Bestandteil in solchen Dispersionsmitteln. Ob **X** für Menschen eine Gefahr darstellt, wird heftig diskutiert. **X1** (54,53 Massen-% C) besteht aus drei Elementen und wird vom menschlichen Organismus als Hauptmetabolit von **X** über den Urin ausgeschieden. Die Anzahl an Atomen der verschiedenen Elemente in **X1** bilden eine geometrische Reihe (*n*, *nq*, *nq*2), wobei die Summe dieser drei Zahlen nicht größer als 25 ist.

***1a.*** *Entscheiden Sie, in welcher Beziehung die Anzahl an Kohlenstoff- und Sauerstoffatomen in* ***X1*** *stehen. Kreuzen Sie die richtige Antwort an.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *n*(C) > *n*(O)  🞎 | *n*(C) < *n*(O)  🞎 | *n*(C) = *n*(O)  🞎 | Unzureichende Daten  🞎 |

***1b.*** *Leiten Sie die empirische Formel für* ***X1*** *ab. Belegen Sie Ihr Ergebnis durch entsprechende Berechnungen. (Belegen Sie auch in allen weiteren Fragen ihre Ergebnisse sofern verlangt!)*

|  |
| --- |
| Ihre Ausführung  Empirische Formel von **X1**: |

Die Biotransformation von **X** zu **X1** erfolgt in zwei enzymatisch katalysierten Schritten, entsprechend den nachstehenden abgestimmten Reaktionsgleichungen (NAD+ und NADH sind die oxidierten bzw. reduzierten Formen von Nicotinamidadenindinukleotid).

**Х** + NAD+ → **X0** + NADH + H+ (1)

**X0** + NAD+ + H2O → **X1** + NADH + H+ (2)

**1c.** *Leiten Sie die Molekülformel von* ***X*** *ab.*

|  |
| --- |
| Ihre Ausführung  Molekülformel von **X**: |

Eine metabolische Nebenreaktion von **X** wird durch eine Cytochrom-P450-abhängige Monooxygenase katalysiert. Diese Reaktion führt zu zwei Verbindungen **X2** (51,56 Massen-% O und 9,74 Massen-% H) und **X3.**

***1d.*** *Leiten Sie die Molekülformel von* ***X2*** *ab und zeichnen Sie die Strukturformel.*

|  |  |
| --- | --- |
| Ihre Ausführung | |
| Molekülformel von **X2**: | Strukturformel von **X2:** |

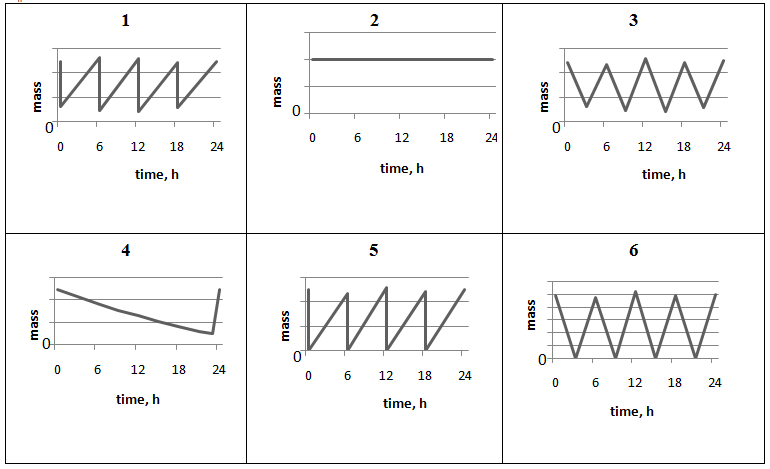
**X** enthält ausschließlich primäre und sekundäre Kohlenstoffatome. **X0** and **X3** enthalten die gleiche funktionelle Gruppe.

***1e.*** *Zeichnen Sie die Strukturformel von* ***X****,* ***X1*** *und* ***X3.***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **X** | **X1** | **X3** |

In einer medizinischen Studie wurden Testpersonen ohne adäquate Schutzbekleidung permanent **X**‑basierenden Lösungsmitteln ausgesetzt. Es wurde herausgefunden, dass die Testpersonen eine stationäre Konzentration von **X** im Blut aufwiesen.

**2.** **X1** wird mit dem Urin ausgeschieden. *Welcher Graph stellt den täglichen Massengehalt von* ***X1*** *im Körper einer freiwilligen Testperson dar? Geben Sie die richtige Nummer des Graphen an.*



|  |
| --- |
| Nummer des Graphen: |

Der Einsatz von verschiedenen Bakterien wird als vielversprechender Weg zur Beseitigung von Kohlenwasserstoffen (sogar Aromaten) aus Meerwasser und dem Boden angesehen. Unter aeroben Bedingungen wird Benzen biologisch, dem nachstehenden Schema entsprechend, abgebaut (die ersten drei Schritte sind abgestimmt):



Unter den gleichen Bedingungen wird der monocyclische, aromatische Kohlenwasserstoff **P** (91,25 Massen-% C) umgesetzt (die ersten drei Schritte sind abgestimmt):



**P3** zeigt einen positiven Iodoformtest. Eine Probe von 100 mg von **P3** benötigt zur vollständigen Neuralisation 6,41 mL einer 0,100 M KOH-Lösung.

***3.*** *Leiten Sie die Strukturformeln von* ***P–P3*** *ab.**Schreiben Sie das stabilste Tautomer von* ***P3*** *an.*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ihre Ausführung | | | |
| **P** | **P1** | **P2** | **P3** |

Mikroorganismen der Gattung *Alicycliphilus sp.* sind in der Lage, aromatische Kohlenwasserstoffe im Boden biologisch abzubauen. Dieser Prozess benötigt einen geeigneten Elektronenakzeptor wie das anorganische Ion **Y1** (die ersten drei Schritte sind abgestimmt):



Die anionische Zwischenstufe **Y2** wird, wie die nachstehende abgestimmte Reaktionsgleichung veranschaulicht, enzymatisch abgebaut:

**Y2**(aq) ⭢ **Y3**(aq) + **Y4**(g)

**Y3** und auch **Y4** bestehen jeweils ausschließlich aus Atomen eines Elements. In **T2** kommen keine zwei identischen sauerstoffhaltigen funktionellen Gruppen vor. **T2** bildet mit einer ammoniakalischen Lösung von Ag2O einen Niederschlag, **Y3** hingegen nicht.

***4.*** *Leiten Sie die Formeln für* ***Y1‑Y4*** *her und schreiben Sie diese in die Kästchen. Zeichnen Sie die Strukturformeln von* ***T1*** *und* ***T2****. Geben Sie das stabilste Tautomer von* ***T2*** *an.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Y1** | **Y2** | **Y3** |
| **Y4** | **T1** | **T2** |

