

Sprachkonvention (im Einklang mit wikipedia.de, Stichwort. Flüssig-Flüssig-Extraktion) und Vereinbarung

Extraktionsgut: Gemisch, der einen herauszulösenden Stoff (= Solvat) enthält.

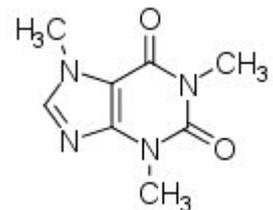
Raffinat: Aufgereinigtes Extraktionsgut, dem also Solvat entfernt wurde. (Anm.: **Raffinieren** bedeutet Aufreinigen. z.B. Raffinierter Zucker: gereinigter Zucker. Erdölraffinerie: Industriekomplex der Erdöl zu Benzin (und anderen Fraktionen) aufreingt). c_{ER} , n_{ER} , β_{ER} : Gehalte bzw. Stoffmenge im Raffinat

Solvens: Lösungsmittel, mit dem das Extraktionsgut, zwecks Entfernung von Solvat-Molekülen behandelt wird. (=Extraktionsmittel). c_{ES} , n_{ES} , β_{ES} : Gehalte bzw. Stoffmenge im Solvens.

Vereinbarung: **Soweit nicht anders angegeben, bilden wir das Verteilungsgesetz immer so, dass der Gehalt des Solvens im Zähler, und der Gehalt des Raffinats im Nenner steht:**

$$K = \frac{c_{ES}}{c_{ER}} = \frac{\beta_{ES}}{\beta_{ER}}$$

- In 100 mL Wasser wurden 68,7 mmol Isopropanol gelöst.
 - Schüttelt man dieses Gemisch mit 100 mL Tetrachlormethan aus, so verbleiben im Gleichgewichtszustand in der wässrigen Phase 3,5 mmol Isopropanol, in der CCl_4 -Phase sind 65,2 mmol Isopropanol zu finden. Berechnen Sie den NERNST'schen Verteilungskoeffizient $K = c_{ES}/c_{ER}$ auf 2 Nachkommastellen gerundet.
 - Welche Stoffmenge Isopropanol verbleibt in der wässrigen Phase, wenn man statt dessen nur mit 50 mL Tetrachlormethan ausschüttelt?
 - Wie viel Isopropanol verbleibt in der wässrigen Phase, wenn man das Anfangsgemisch zwei mal hintereinander mit 50 mL Tetrachlormethan (statt ein mal mit 100 mL) ausschüttelt? Vergleichen Sie das Ergebnis mit a).
- In einem bestimmten Volumen einer wässrigen Phase sind 20 mmol eines Stoffs gelöst. Sie wird mit demselben Volumen eines org. Lösungsmittels ausgeschüttelt, wobei der empirische Verteilungskoeffizient $K = 5,2$ beträgt. Welche Stoffmengen finden sich nach der Gleichgewichtseinstellung in beiden Phasen gelöst? *[ähnlich einer Prüfungsaufgabe aus der Abschlussprüfung Teil 1, Jahr 2009]*
- Schüttelt man 200 mL 0,1-molare wässrige Benzoesäurelösung mit 40 mL Diethylether aus, so verbleiben 0,35 g Benzoesäure in der wässrigen Phase. Berechnen Sie den Verteilungskoeffizienten.
- Der NERNST'sche Verteilungsexponent für Ameisensäure für das System Oktanol/Wasser beträgt $pK = -0,413$. In 50 mL Wasser werden 2 mmol Ameisensäure gelöst. Welche Stoffmenge Ameisensäure kann man mit 20 mL Octanol (Solvens) ausschütteln?
- Coffein (Strukturformel: siehe rechts) kann aus wässrigen Phasen mittels Chloroform (Trichlormethan) extrahiert werden. Die Ausgangsphase (Extraktionsgut) besteht aus einer wässrigen Coffeinlösung mit $\beta(\text{Cof}) = 2 \text{ g}/100 \text{ mL}$.
 - Warum ist Aceton als Extraktionsmittel/Solvens ungeeignet?
 - Gibt man zu 100 mL des Extraktionsgutes im Scheidetrichter 20 mL Chloroform und schüttelt bis zur Gleichgewichtseinstellung, so verbleiben nur noch 0,26 Gramm Coffein in der wässrigen Phase (Raffinat). Berechnen Sie zuerst den Nernst'schen Verteilungskoeffizient (auf 2 Nachkommastellen runden) und ermitteln Sie, welche Masse Coffein sich durch zweimalige Extraktion hintereinander, mit jeweils 10 mL Chloroform entfernen ließe.



Musterlösung

1.

a) Vorsicht nicht unbewusst bildlich assoziieren. „*obere Phase = Zähler. untere Phase = Nenner*“. Das wäre dann bei dieser Aufgabe falsch. Das Raffinat ist hier die wässrige Phase (schwimmt oben): Es muss im Bruch im Nenner stehen!

Da das Volumen von Raffinat und Extrakt identisch ist, kann es gekürzt werden. Deshalb kann man K direkt mit den Gleichgewichts-Stoffmengen berechnen.

$$K = \frac{c_{ES}}{c_{ER}} = \frac{65,2 \text{ mmol}}{3,5 \text{ mmol}} \approx 18,63$$

b)

$$K = \frac{c_{ES}}{c_{ER}} = \frac{\frac{n_{ES}}{V_S}}{\frac{n_{ER}}{V_R}} = \frac{n_{ES}}{V_S} \cdot \frac{V_R}{n_{ER}}$$

$$18,63 = \frac{n_{ES}}{50 \text{ mL}} \cdot \frac{100 \text{ mL}}{n_{ER}} \quad \text{weiterhin gilt: } n_{ES} + n_{ER} = 68,7 \text{ mmol} \Rightarrow n_{ES} = 68,7 \text{ mmol} - n_{ER}$$

$$18,63 = \frac{68,7 \text{ mmol} - n_{ER}}{50 \text{ mL}} \cdot \frac{100 \text{ mL}}{n_{ER}} \Rightarrow$$

$$9,315 = \frac{68,7 \text{ mmol} - n_{ER}}{n_{ER}} \Rightarrow$$

$$9,315 n_{ER} = 68,7 \text{ mmol} - n_{ER} \Rightarrow$$

$$10,315 n_{ER} = 68,7 \text{ mmol} \Rightarrow$$

$$n_{ER} = 6,66 \text{ mmol}$$

Es verbleibt fast die doppelte Stoffmenge im Raffinat.

c) Das Lösungsmittel wird entfernt.

Nach dem ersten Schritt gilt:

$$18,63 = \frac{n_{ES}}{50 \text{ mL}} \cdot \frac{100 \text{ mL}}{n_{ER}} \quad \text{weiterhin gilt: } n_{ES} + n_{ER} = 6,66 \text{ mmol} \Rightarrow n_{ES} = 6,66 \text{ mmol} - n_{ER}$$

=> => Rechenweg wie bei b)

$$n_{ER} = 0,65 \text{ mmol}$$

Bei der einmaligen Extraktion mit 100 mL CCl_4 sind 3,5 mmol Isopropanol in der wässrigen Phase verblieben, bei der zweimaligen Extraktion mit jeweils 50 mL, verbleiben nur 0,65 mmol Isopropanol in der wässrigen Phase. Die mehrmalige Extraktion mit kleinen Volumina ist deutlich effizienter als die einmalige Extraktion mit einem großem Volumen!

Nr. 2

Da das Volumen von Extraktionsgut und Lösungsmittel (Extraktionsmittel) identisch ist, kann man Nernsche Verteilungsgesetz auch gleich mit Stoffmengen formulieren!

vgl. mein Lernvideo „Nernst'sches Verteilungsgesetz Teil2“ (ab 2 min 10 sek):

https://youtu.be/oGWR6_9pRqI?t=130



$$K = \frac{n_{ES}}{n_{ER}} = 5,2 \quad \text{Weiterhin gilt: } n_{ES} + n_{ER} = 20 \text{ mmol} \quad \text{Gleichungssystem mit 2 Unbekannten}$$

$$\Rightarrow \Rightarrow n_{ES} = 16,8 \text{ mmol} \text{ und } n_{ER} = 3,2 \text{ mmol}$$

Nr. 3

$$\text{Zu Beginn: } n_{ER} = c \cdot V = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,2 \text{ L} = 0,02 \text{ mol}$$

$$\text{Am Ende (bei GG-Einstellung) } n_{ER} = \frac{m_{ER}}{M(BS)} = \frac{0,35 \text{ g}}{122,123 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,002866 \text{ mol}$$

$$\text{Für die Lösungsmittelphase kann man also schließen: } n_{ES} = 0,02 \text{ mol} - 0,002866 \text{ mol} \approx 0,017134 \text{ mol}$$

$$\text{Verteilungskoeffizient: } K = \frac{c(ES)}{c(ER)} = \frac{\frac{n(ES)}{V_S}}{\frac{n(ER)}{V_R}} \Rightarrow K = \frac{n_{ES} \cdot V_R}{n_{ER} \cdot V_S} \approx \frac{0,017134 \text{ mol} \cdot 200 \text{ mL}}{0,002866 \text{ mol} \cdot 40 \text{ mL}} \approx 29,89$$

Nr. 4

$$K = 10^{-pK} = 10^{0,413} = 2,588$$

Wasser ist das Raffinat, Octanol das Solvens.

$$K = \frac{n_{ES}}{V_S} \cdot \frac{V_R}{n_{ER}} \Rightarrow 2,588 = \frac{n_{ES}}{20 \text{ mL}} \cdot \frac{50 \text{ mL}}{n_{ER}} \quad \text{weiterhin gilt: } n_{ES} + n_{ER} = 2 \text{ mmol} \Rightarrow n_{ER} = 2 \text{ mmol} - n_{ES}$$

einsetzen:

$$2,588 = \frac{n_{ES}}{20 \text{ mL}} \cdot \frac{50 \text{ mL}}{2 \text{ mmol} - n_{ES}} \Rightarrow$$

$$1,0352 = \frac{n_{ES}}{2 \text{ mmol} - n_{ES}} \Rightarrow$$

$$2,0704 \text{ mmol} - 1,0352 n_{ES} = n_{ES} \Rightarrow$$

$$2,0704 \text{ mmol} = 2,0352 n_{ES} \Rightarrow$$

$$n_{ES} = 1,017 \text{ mmol}$$

Es lassen sich 1,017 mmol Ameisensäure ausschütteln.

Nr. 5 Coffeinextraktion

a) Aceton mischt sich mit der wässrigen Phase. Eine Abtrennung von der wässrigen Phase (z.B. über einen Scheidetrichter) ist deshalb nicht möglich.

b) In den 100 mL Raffinat verbleiben 0,26 g. $\Rightarrow \beta_{ER} = \frac{m}{V} = \frac{0,26g}{0,1L} = 2,6 \frac{g}{L}$

In das Lösemittel (Solvens) sind 2 g – 0,26 g = **1,74 g** Coffein übergegangen. $\Rightarrow \beta_{ER} = \frac{m}{V} = \frac{1,74g}{0,02L} = 87 \frac{g}{L}$

$$K = \frac{c_{ES}}{c_{ER}} = \frac{\beta_{ES}}{\beta_{ER}} = \frac{87 \frac{g}{L}}{2,6 \frac{g}{L}} \approx 33,46$$

Erste Extraktion:

$$33,46 = \frac{\beta_{ES}}{\beta_{ER}} = \frac{10x}{20-x} \approx 33,46 \Rightarrow 10x = 669,2 - 33,46x \Rightarrow x \approx 15,39 \frac{g}{L}$$

Nach der ersten Extraktion sind also noch im Raffinat: $\beta_{ER} = 20 \frac{g}{L} - 15,39 \frac{g}{L} \approx 4,60 \frac{g}{L}$

Zweite Extraktion:

$$33,46 = \frac{\beta_{ES}}{\beta_{ER}} = \frac{10x}{4,60-x} \approx 33,46 \Rightarrow 10x = 153,92 - 33,46x \Rightarrow x \approx 3,54 \frac{g}{L}$$

Nach der zweiten Extraktion sind also noch im Raffinat: $\beta_{ER} = 4,60 \frac{g}{L} - 3,54 \frac{g}{L} \approx 1,06 \frac{g}{L}$

In 100 mL Raffinat sind also noch enthalten: 0,106 g. Es wurden also entfernt 2 g – 0,106 g \approx **1,89 g**

Durch zweimalige Extraktion mit 10 mL ist also mehr (1,89 g) entfernt worden als durch einmalige Extraktion mit 20 mL (**1,74 g**).