

1. Grundlegende Aufgaben

1.1 Aus einer Stammlösung mit $\beta_0 = 50 \text{ mg/L}$ soll eine Verdünnungsreihe mit 4 Verdünnungen hergestellt werden. Zusammen sollen die 5 Lösungen den Konzentrationsbereich bis 50 mg/L gleichmäßig abdecken. Das benötigte Volumen von jeder Lösung beträgt 20 mL . Wie werden die Lösungen hergestellt?

1.2 Aus einer Ca^{2+} -Stammlösung sollen 8 Verdünnungen hergestellt werden. Diese 8 Lösungen sollen den Konzentrationsbereich bis $\beta(\text{Ca}^{2+}) = 300 \text{ mg/L}$ gleichmäßig abdecken. Das benötigte Volumen von jeder Lösung beträgt 100 mL . Die pipettierten Volumina der Stammlösung sollen 5 mL oder Vielfache davon sein [WARUM??].

- Legen Sie die Gehalte der 8 Verdünnungen fest und bestimmen Sie zusätzlich den Gehalt einer Stammlsg, aus der dann die 8 Verdünnungen hergestellt werden können. Berechnen Sie die einzusetzenden Pipettierolumina für jede Verdünnung.
- Die Stammlösung soll aus Calciumchlorid-Hexahydrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) hergestellt werden. Wie gehen Sie vor, wenn Sie eine kleine Volumenreserve einplanen? (Rechnung + Herstellung).

1.3 [Nur relevant, wenn Fotometrie-Inhalte bekannt] Eine Farbstofflösung besitzt das Volumen 100 mL . Vor der fotom. Bestimmung wurden 5 mL dieser Lösung auf insgesamt 10 mL mit Wasser verdünnt. Die Absorbanz dieser verdünnten Lsg. beträgt $A = 0,900$. Der Zusammenhang zwischen Absorbanz (y-Achse) und Massenkonzentration (x-Achse in mg/L) lautet $y = 0,0596 \cdot x - 0,6315$. Berechnen Sie die Massenkonzentration der Probelösung.

1.4 [Nur relevant, wenn Fotometrie-Inhalte bekannt] Eine Probelösung zeigt eine Absorbanz von $A \approx 1,3$. Daraus soll durch Verdünnung in einer Küvette eine Lösung hergestellt werden die unter gleichen Bedingungen eine Absorbanz von $A \approx 0,6$ zeigt. Wie gehen Sie vor?

1.5 Eine Medikamentenlösung besitzt $\beta_1(\text{Med}) = 6750 \text{ }\mu\text{g/L}$ und $\beta_1(\text{NaCl}) = 300 \text{ mg/L}$. Durch Mischen mit einer Kochsalzlösung mit $\beta_2(\text{NaCl}) = 20 \text{ g/L}$ sollen 200 mL einer Verdünnung mit $\beta(\text{NaCl}) = 9 \text{ g/L}$ hergestellt werden.

- Welche Volumina der beiden Lösungen sind einzusetzen?
- Wie hoch ist die Medikamentenkonzentration in der Verdünnung?

1.6 Für eine Messung werden 100 mL einer Paracetamol-Stammlösung von 25 mg/L benötigt. Die Einwaage an Paracetamol soll aus Genauigkeitsgründen zwischen 100 und 300 mg liegen. Zur Verfügung stehende folgende Volumenmessgeräte: Messkolben: 50 mL , 100 mL , 250 mL , 500 mL , Vollpipetten: 10 mL , 20 mL , 25 mL , 50 mL . Geben Sie mindestens 3 verschiedene Möglichkeiten an, die gewünschte Lösung herzustellen.

1.7 Aus einer Kaliumsulfat-Lsg mit $c(\text{K}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol/L}$, sollen mindestens 200 mL einer Lösung mit einer Massenkonzentration an Kalium von $\beta(\text{K}^+) = 150,00 \text{ mg/L}$ hergestellt werden. Wie gehen Sie in der Praxis vor, um die gewünschte Lösung herzustellen? Für die Herstellung sind neben Vollpipetten (5 mL , 10 mL , 20 mL , 25 mL , 50 mL) und Messkolben (10 mL , 50 mL , 100 mL , 200 mL , 250 mL , 500 mL , 1 L) auch Kolbenhubpipetten zugelassen.

1.8 Eine Fructoselösung ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) mit $c(\text{Fructose}) = 1,5 \text{ mol/L}$ wird 1:50 mit Wasser verdünnt (Verdünnungsfaktor $F = 0,02$). Berechnen Sie den Massenanteil und die Massenkonzentration der verdünnten Lsg., wenn die Dichte der verdünnten Lösung $\rho = 1,083 \text{ g/mL}$ beträgt. (ähnlich Prüfungsaufg. aus Abschlussprüf. Teil 1 für BL, Sommer 2015).

1.9 Aus einer Phloroglucin-Stammlösung mit $2000 \text{ }\mu\text{L}$ sollen folgende Verdünnungsstufen hergestellt werden: 150 mg/L , 175 mg/L , 200 mg/L und 225 mg/L . Welche Massenkonzentration muss die Stammlösung besitzen, wenn für das Pipettieren der Stammlösung ausschließlich eine $100 \text{ }\mu\text{L}$ -Pipette benutzt werden kann? Wie wird das erforderliche Volumen der Stammlösung aus Phloroglucin-Dihydrat, $M = 162,11 \text{ g/mol}$ hergestellt?

2. Aufgabenüberschuss (z.B. aus Klassenarbeiten) – weitere Aufgaben u.U. auf online-Version auf laborberufe.de

2.1 Aus einer Wirkstofflösung mit $c(\text{Wirkstoff}) = 5 \text{ mol/L}$ sollen über eine fortgesetzte Verdünnungsreihe $500 \text{ }\mu\text{L}$ einer Lösung mit $c(\text{Wirkstoff}) = 25 \text{ }\mu\text{mol/L}$ hergestellt werden. Die zu pipettierenden Volumina sollen nicht kleiner als $50 \text{ }\mu\text{L}$ sein. Wie gehen Sie vor?

2.2 Aus einer FeCl_3 -Stammlösung sollen mit 20 mL-Pipetten jeweils 250 mL folgender Massenkonzentrationen $\beta(\text{FeCl}_3)$ hergestellt werden. 25,5 mg/L, 51 mg/L und 76,5 mg/L.

- a) Welche Massenkonzentration $\beta(\text{FeCl}_3)$ muss die Stammlösung besitzen und wie werden die einzelnen Lösungen daraus hergestellt?
- b) Wie wird die Stammlösung aus FeCl_3 -Hexahydrat hergestellt, wenn man einen vernünftigen Überschuss einplant?
- c) Alternativ kann die Stammlösung auch aus einer anderen FeCl_3 -Lösung mit $c = 500 \text{ mM}$ hergestellt werden. Wie gehen Sie vor?

Lösungen unter www.laborberufe.de

Musterlösungen – ohne Gewähr

Nr. 1.1

Konzentrationen der Verdünnungen: 10 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L, 40 mg/L. Das jeweils benötigte Volumen an Stammlösung kann z.B. mit der Mischungsgleichung berechnet werden:

$$\beta_{\text{Stamm}} \cdot V_{\text{Stamm}} = \beta_{\text{Verdünnung}} \cdot V_{\text{Verdünnung}} \Rightarrow$$

$$V_{\text{Stamm}} = \frac{\beta_{\text{Verdünnung}} \cdot V_{\text{Verdünnung}}}{\beta_{\text{Stamm}}} \Rightarrow$$

$$V_{\text{Stamm}} = \frac{\beta_{\text{Verdünnung}} \cdot 20 \text{ mL}}{50 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

Bezeichnung	β in mg/L	benötigtes Volumen an Stammlösung in mL	
Stammlösung	50	-	jeweils auffüllen auf 20 mL
Verdünnung 1	40	16	
Verdünnung 2	30	12	
Verdünnung 3	20	8	
Verdünnung 4	10	4	

Nr. 1.2

Zuerst legt man die Gehalte der Verdünnungen fest: Da 8 Lösungen hergestellt werden müssen, gilt für die Gehaltsschrittweite: $300 \text{ mg/L} : 8 = 37,5 \text{ mg/L}$.

Die dünnste der Verdünnungen besitzt $\beta = 37,5 \text{ mg/L}$, sie soll entstehen durch pipettieren von 5 mL Stammlösung und auffüllen auf 100 mL. D.h. die Stammlösung ist $100/5 = 20$ mal konzentrierter. Gehalt der Stammlösung: $\beta(\text{Ca}^{2+}) = 20 \cdot 37,5 \text{ mg/L} = 750 \text{ mg/L}$.

Bezeichnung	$\beta(\text{Ca}^{2+})$ in mg/L	benötigtes Volumen an Stammlösung in mL
Stammlösung	750	z.B. 200 mL oder 250 mL (um daraus alle anderen Verdünnungen herstellen zu können incl. Sicherheitsreserve)
Verdünnung 1	300	40 mL (auf 100 mL auffüllen)
Verdünnung 2	262,5	35 mL (auf 100 mL auffüllen)
Verdünnung 3	225	30 mL (auf 100 mL auffüllen)
Verdünnung 4	187,5	25 mL (auf 100 mL auffüllen)
Verdünnung 5	150	20 mL (auf 100 mL auffüllen)
Verdünnung 6	112,5	15 mL (auf 100 mL auffüllen)
Verdünnung 7	75	10 mL (auf 100 mL auffüllen)
Verdünnung 8	37,5	5 mL (auf 100 mL auffüllen)

Herstellung von 200 mL Stammlösung:

Berechnung der insgesamt enthaltenen Masse an Ca^{2+} :

$$\beta(\text{Ca}^{2+}) = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{V(\text{Lsg})} \Rightarrow m(\text{Ca}^{2+}) = \beta(\text{Ca}^{2+}) \cdot V(\text{Lsg}) = 0,7 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 0,2 \text{ L} = 0,14 \text{ g}.$$

Daraus kann in die Stoffmenge $n(\text{Ca}^{2+})$ umgerechnet werden:

$$n(\text{Ca}^{2+}) = \frac{m(\text{Ca}^{2+})}{M(\text{Ca}^{2+})} = \frac{0,14 \text{ g}}{40,078 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,003493188 \text{ mol}$$

Diese Stoffmenge wird auch an $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ benötigt, da 1 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Teilchen genau 1 Ca^{2+} liefert:

$$n(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \approx 0,003493188 \text{ mol}$$

Umrechnung in die Masse:

$$m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = n(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0,003493188 \text{ mol} \cdot 219,075 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 0,7653 \text{ g}$$

Diese Masse muss eingewogen und auf ein Gesamtvolumen von 200 mL gelöst werden.

Nr. 1.3

Zuerst wird in die Geradengleichung eingesetzt, um die Konzentration der verdünnten Lösung zu berechnen:

$$0,900 = 0,0596 \cdot x - 0,6315 \Rightarrow x \approx 25,6963 \text{ mg/L}$$

Berücksichtigung der Verdünnung

Die ursprüngliche Lösung war doppelt so konzentriert, da 5 mL auf 10 mL verdünnt wurden. $\Rightarrow \beta = 51,4$ mg/L (Gehalt der unverdünnten Probelösung)

Nr. 1.4

Die Absorbanzen sind nach dem Lambert-Beerschen Gesetz proportional zur Konzentration. Wie bei Konzentrationen kann man also direkt Verdünnungsfaktoren berechnen.

Die Lösung um den Faktor $\frac{1,3}{0,6} \approx 2,167$ verdünnt werden. z.B. kann man 1 mL Lösung mit ca. 1,17 mL Lösungsmittel in der Küvette verdünnt werden (Gesamtvolumen $\approx 2,17$ mL). ODER 10 mL : $2,167 \approx 4,61$ mL Konzentrat mit Lösungsmittel auf ein Gesamtvolumen von 10 mL verdünnen.

Nr. 1.5

a) Mischungsgleichung:

$$\beta_1(\text{NaCl}) \cdot V_1 + \beta_2(\text{NaCl}) \cdot V_2 = \beta_M(\text{NaCl}) \cdot V_{\text{gesamt}} \quad \text{Mit } V_1 = V_{\text{gesamt}} - V_2 \text{ folgt}$$

$$\beta_1(\text{NaCl}) \cdot (V_{\text{gesamt}} - V_2) + \beta_2(\text{NaCl}) \cdot V_2 = \beta_M(\text{NaCl}) \cdot V_{\text{gesamt}} \quad \text{einsetzen: alle } \beta \text{ in g/L, alle Volumina in mL}$$

$$0,3 \cdot (200 - V_2) + 20 \cdot V_2 = 9 \cdot 200 \Rightarrow 60 - 0,3 V_2 + 20 V_2 = 1800 \Rightarrow 19,7 V_2 = 1740 \Rightarrow V_2 \approx 88,3 \text{ mL}$$

$$V_1 = 200 \text{ mL} - 88,3 \text{ mL} \approx 111,7 \text{ mL}$$

Es werden 111,7 mL der Medikamentenlösung mit 88,3 mL der Kochsalzlösung gemischt. Diese Rechnung vernachlässigt streng genommen allerdings die Volumenkontraktion, diese ist beim Mischen verdünnter wässriger Lösungen jedoch nahezu Null.

b) Berechnung der Medikamentenkonzentration mit der Mischungsgleichung:

Der Gehalt an Medikament ist in einer Lösung $\beta = 0 \mu\text{g/L}$, so dass gilt (wie für das Verdünnen mit Wasser): $\beta_1 V_1 = \beta_2 V_2$

$$\Rightarrow 6750 \mu\text{g/L} \cdot 111,7 \text{ mL} = \beta_2 \cdot 200 \text{ mL} \Rightarrow \beta_2 \approx 3770 \mu\text{g/L}$$

Nr. 1.6

Da am Ende $\beta = 25 \text{ mg/L}$ benötigt wird, es es hilfreich eine Masse einzuwiegen, bei der die Zahlenkombination 25 auftaucht (oder ganzzahlige Vielfache davon oder halbe oder viertel Werte): 25,50,100,250,500 aber z.B. auch 125. So ergeben sich in der Regel dann glatte Verdünnungsfaktoren wie etwa $F = 10$, $F = 100$, $F = 20$ o.ä. und nicht krumme Werte wie z.B. $F = 33,33333$. Solche krummen Werte führen meist zu krummen Volumina, für die keine Vollpipetten vorhanden sind. BEISPIELE

- Einwaage von 250 mg und lösen auf 500 mL. $\Rightarrow \beta = 500 \text{ mg/L}$. Diese Lösung muss noch um den Faktor $F = 500 \text{ mg/L} : 25 \text{ mg/L} = 20$ verdünnt werden. Von der Lösung können also 5 mL entnommen werden und auf ein Gesamtvolumen von 100 mL verdünnt werden. Es resultiert $\beta = 25 \text{ mg/L}$.
- Einwaage von 125 mg und lösen auf 500 mL. $\Rightarrow \beta = 250 \text{ mg/L}$. Diese Lösung muss noch um den Faktor $F = 250 \text{ mg/L} : 25 \text{ mg/L} = 10$ verdünnt werden. Also kann 10 mL der Lösung nehmen und auf 100 mL auffüllen ($\beta = 500 \text{ mg/L}$).
- Einwaage von 125 mg und lösen auf 100 mL. $\Rightarrow \beta = 1250 \text{ mg/L}$. Diese Lösung muss noch um den Faktor $F = 1250 \text{ mg/L} : 25 \text{ mg/L} = 50$ verdünnt werden. Also z.B. 5 mL der Lösung auf 250 mL Gesamtvolumen verdünnen.

Nr. 1.7

Da die Umrechnung von der Stoffmengenkonzentration auf die Massenkonzentration bestimmt ein krummes Ergebnis in mg/L ergibt (Molare Massen sind fast immer krumm), ist ziemlich sicher, dass bei dieser Aufgabe krumme Volumina pipettiert werden müssen. Zwischen der Istkonzentration β_{ist} und der Wunschkonzentration $\beta_{\text{sol}} = 150 \text{ mg/L}$ wird also höchstwahrscheinlich kein ganzzahliger Zusammenhang existieren, so dass krumme Verdünnungsfaktoren resultieren. So wird man mit Vollpipetten und Messkolben allein, eine solche Lösung nicht herstellen können.

Umrechnung in $\beta(\text{K}^+)$

$c(\text{K}^+) = 2 \text{ mol/L}$ (da 1 K_2SO_4 -Teilchen 2 K^+ ergibt).

$$\beta(\text{K}^+) = c(\text{K}^+) \cdot M(\text{K}^+) \approx 2 \text{ mol/L} \cdot 39,0983 \text{ g/mol} \approx 78,1966 \text{ g/L}$$

Anwendung der Mischungsgleichung

$$\beta_1 V_1 = \beta_2 V_2 \Rightarrow 78,1966 \text{ g/L} \cdot V_1 = 0,15 \text{ g/L} \cdot 200 \text{ mL} \Rightarrow V_1 \approx 0,384 \text{ mL} (\approx 384 \mu\text{L})$$

Es müssen 384 μL auf 200 mL Gesamtvolumen verdünnt werden.

Nr. 1.8

fehlt noch. selber rechnen und Mitschüler konsultieren.

Nr. 1.9

Die Verdünnungsstufen unterscheiden sich gerade um 25 mg/L voneinander. Diese Konzentrationsdifferenz muss gerade der Pipettier Volumenschrittweite von 100 μL entsprechen. Würde man 100 μL Stammlösung pipettieren müsste die Konzentration z.B. von 0 mg/L auf 25 mg/L steigen. Mit der Verdünnungsgleichung kann man nun berechnen:

$$\beta_1 \cdot V_1 = \beta_M \cdot V_M \Rightarrow \beta_1 \cdot 100 \mu\text{L} = 25 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 2000 \mu\text{L} \Rightarrow \beta_1 = 500 \text{ mg/L} \quad \text{Die Stammlsg. muss } \beta = 500 \text{ mg/L} \text{ besitzen.}$$

Einzusetzendes Volumen für die 150 mg/L:

$$\beta_1 \cdot V_1 = \beta_M \cdot V_M \Rightarrow 500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot V_1 = 150 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 2000 \mu\text{L} \Rightarrow V_1 = 600 \mu\text{L}$$

Pipettierschema

Verdünnungsstufe in mg/L	V(Stammlsg.) in μL	V(Lösungsmittel) in μL
150	600	1400
175	700	1300
200	800	1200
225	900	1100

Es werden 3000 μL Stammlösung benötigt. Mit Sicherheitsreserve z.B. 5000 μL , dies ist auch eine gängige Messkolbengröße. Da die Konzentration 500 Milligramm pro Liter beträgt, werden in diesen 5 mL 2,5 Milligramm benötigt.

Umrechnung in eine Masse:

Das wasserfreie Phloroglucin hat eine molare Masse von $M = 162,11 \text{ g/mol} - 2 \cdot 18 \text{ g/mol} \approx 126,11 \text{ g/mol}$. 2,5 Milligramm entsprechen also einer Stoffmenge von 0,000019824 mol. Es werden also auch 0,00019824 mol Phloroglucin-Dihydrat benötigt. Das sind ca. 3,2 Milligramm. Wenn einem das zu wenig ist, zum präzisen Einwiegen, muss man z.B. die Fünffache Masse auf 25 mL auffüllen, also 16,0 Milligramm ad 25 mL.

2.1 fortgesetzte Verdünnung eines Wirkstoffs

Schätzung von n: Da $F > 1:10$ sein muss (z.B. 1:8), wird n ca. 6 sein,

$$c = F^n \cdot c_0 \Rightarrow F = \sqrt[6]{\frac{25 \mu\text{M}}{5 \cdot 10^6 \mu\text{M}}} \approx 0,130766 \quad F = \frac{V_{\text{vor}}}{V_{\text{nach}}} \Rightarrow V_{\text{vor}} = 0,130766 \cdot 500 \mu\text{L} \approx 65,38 \mu\text{L}$$

6 mal hintereinander 65,38 μL ad 500 μL verdünnen. Nach jedem Schritt gut mischen.

2.2 Eisen(III)-Kalibrierlösung

a) Pipettiert man 20 mL, d.h. das kleinste pipettierbare Volumen, in einen 250mL- Messkolben und füllt bis zur Marke auf, so muss sich die Konzentration 25,5 mg/L einstellen. Daraus folgt

$$\beta_1 \cdot V_1 = \beta_2 \cdot V_2 \Rightarrow \beta_1 \cdot 20 \text{ mL} = 25,5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot 250 \text{ mL} \Rightarrow \beta_1 = 318,75 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \quad (\text{Gehalt der Stammlsg.})$$

25,5 mg/L: 20 mL Stammlsg. ad 250 mL. **51 mg/L:** 40 mL Stamm ad 250 mL. **76,5 mg/L:** 60 mL Stamm ad 250 mL.

b) z.B. 150 mL Stammlösung herstellen.

In 150 mL Stamm enthalten: 47,8125 mg FeCl_3 . Das sind $2,947749 \cdot 10^{-4}$ mol. Dieselbe Stoffmenge wird auch von $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($M = 270,3 \text{ g/mol}$) benötigt. Das sind 0,079677 g. Herstellung: 79,7 mg $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ad 150 mL lösen (für 200 mL Lsg.: 106,2 mg)

$$c) \quad c(\text{FeCl}_3) = \frac{\beta}{M} = \frac{318,75 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{162,2 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}}} \approx 1,965 \text{ mM}; \quad c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2 \Rightarrow 500 \text{ mM} \cdot V_1 = 1,965 \text{ mM} \cdot 150 \text{ mL} \Rightarrow V_1 = 0,5895 \text{ mL}$$

589,5 μL mit H_2O auf 150 mL verdünnen. (für 200 mL: 786 μL)