

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?
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.
 - a) 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.
 - b) 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).
3. 20 g Calciumchlorid (CaCl_2) wurden mit $100 \text{ g H}_2\text{O}$ gelöst. Die Lösung nimmt ein Volumen von $111,5 \text{ mL}$ ein.
 - a) Welche Masse Natriumchlorid (NaCl) muss zur Lösung gegeben werden, damit der Chloridgehalt auf $w(\text{Cl-}) = 15\%$ steigt?
 - b) Die Ausgangslösung soll so mit H_2O verdünnt werden, dass 100 mL mit $c(\text{Ca}^{2+}) = 250 \text{ mmol/L}$ entstehen. Wie geht man in der Praxis vor?
4. Aus einer Lithiumcitrat-Stammlösung solle 5 Verdünnungen mit jeweils 200 mL hergestellt werden. Die 5 Verdünnungen sollen den Bereich bis $\beta(\text{Li}^+) = 175 \text{ mg/L}$ gleichmäßig abdecken. Zum Pipettieren stehen ausschließlich 25-mL -Vollpipetten zur Verfügung.
 - a) Welche Konzentration $\beta(\text{Li}^+)$ muss die Stammlösung haben und wie werden die einzelnen Verdünnungen hergestellt?
 - b) Wie wird die Stammlösung aus Lithiumcitrat hergestellt, wenn Sie einen Überschuss einplanen, um auf den nächstgrößeren üblichen Messkolben zurückgreifen zu können. Hinweis: $M(\text{Li}_3\text{Cit}) = 209,923 \text{ g/mol}$.
5. Eine Medikamentenlösung besitzt den Gehalt $\beta_1(\text{Med}) = 6750 \text{ }\mu\text{g/L}$ 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.
 - a) Welche Volumina der beiden Lösungen sind einzusetzen?
 - b) Wie hoch in die Medikamentenkonzentration in der Verdünnung?
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.
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.
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*).
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?

Musterlösungen – ohne Gewähr

Nr. 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. 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. 3

a) Chloridgehalt der Ausgangslösung:

20 g CaCl_2 sind $n = \frac{m}{M} = \frac{20 \text{ g}}{110,983 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,18021 \text{ mol}$ Da 1 CaCl_2 -Teilchen 2 Cl^- -Ionen besitzt gilt:

$$\Rightarrow n(\text{Cl}) = 0,18021 \text{ mol} \cdot 2 \approx 0,36042 \text{ mol} \Rightarrow m(\text{Cl}) = 0,36042 \text{ mol} \cdot 35,453 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \approx 12,778 \text{ g}$$

$$w(\text{Cl}) = \frac{m(\text{Cl})}{m(\text{Lsg})} \approx \frac{12,778 \text{ g}}{120 \text{ g}} \approx 0,1065 \quad (10,65\%)$$

Chloridgehalt im Natriumchlorid:

$$w(\text{Cl}) = \frac{1 \cdot M(\text{Cl})}{M(\text{NaCl})} \approx \frac{35,453 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{58,4425 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,6066 \quad (60,66\%)$$

Mischungsgleichung

$$w_1 m_1 + w_2 m_2 = w_m m_m \Rightarrow 10,65\% \cdot 120 \text{ g} + 60,66\% \cdot m_2 \approx 15\% \cdot (120 \text{ g} + m_2) \Rightarrow m_2 = 11,43 \text{ g}$$

Es müssen 11,43 g NaCl hinzu gegeben werden.

b) In der Lösung sind 0,18021 mol Ca^{2+} gelöst. $c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{n}{V} \approx \frac{0,18021 \text{ mol}}{0,1115 \text{ L}} \approx 1,6162 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \approx 1616,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}}$

Verdünnungsgleichung: $c_1 V_1 = c_2 V_2 \Rightarrow 1616,2 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \cdot V_1 \approx 250 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \cdot 100 \text{ mL} \Rightarrow V_1 \approx 15,47 \text{ mL}$. 15,47 mL

Konzentrat ad 100 mL verdünnen.

Nr. 4

Gehalte der Verdünnung bei gleichmäßiger Verteilung: 35 mg/L 70 mg/L 105 mg/L 140 mg/L
175 mg/L

Die dünnste der Verdünnungen soll entstehen, wenn man 25 mL (1 mal mit Vollpipette pipettieren) des Konzentrats auf 200 mL verdünnt.

Verdünnungsgleichung: $c_1 V_1 = c_2 V_2 \Rightarrow c_1 \cdot 25 \text{ mL} \approx 35 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} \cdot 200 \text{ mL} \Rightarrow c_1 = 280 \text{ mg/L}$. Die Stammlsg. muss eine Konzentration von 280 mg/L besitzen.

35 mg/L: 25 mL ad 200 mL **70 mg/L:** 50 mL ad 200 mL **105 mg/L:** 75 mL ad 200 mL etc.

140 mg/L: 100 mL ad 200 mL 175 mg/L: 125 mL ad 200 mL

b) Summe Stammlsg: 375 mL. => 500 mL mit $\beta(\text{Li}^+)$ 280 mg/L herstellen. Lösung enthält 140 mg Li^+ . Das sind

$n(\text{Li}^+) = \frac{m(\text{Li}^+)}{M(\text{Li}^+)} = \frac{0,14 \text{ g}}{6,941 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,02017 \text{ mol}$. Da jedes Li_3Cit 3 Li^+ liefert, werden also nur 0,0067233 mol Li_3Cit benötigt. Das sind 1,411 g Li_3Cit .

Nr. 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. 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. 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 $\beta_{\text{soll}} = 150 \text{ mg/L}$ 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. 8

fehlt noch. selber rechnen und Mitschüler konsultieren.

Nr. 9

Die Verdünnungsstufen unterscheiden sich gerade um 25 mg/L voneinander. Diese Konzentrationsdifferenz muss gerade der Pipettierolumenschrittweite 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.