

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  $0 \text{ mg/L} - 50 \text{ mg/L}$  gleichmäßig abdecken. Das benötigte Volumen von jeder Lösung beträgt  $20 \text{ mL}$ .
2. Aus einer  $\text{Ca}^{2+}$ -Stammlösung sollen 8 Verdünnungen hergestellt werden, die den Konzentrationsbereich  $\beta(\text{Ca}^{2+}) = 0 \text{ mg/L}$  bis  $\beta(\text{Ca}^{2+}) = 300 \text{ mg/L}$  gleichmäßig abdecken. Das benötigte Volumen von jeder Lösung beträgt  $100 \text{ mL}$ . Die pipettierten Volumina der Stammlösung sollen  $5 \text{ mL}$  oder Vielfache davon sein [WARUM???].
- a) Legen Sie die Gehalte der 8 Verdünnungen und der Stammlsg. fest und berechnen Sie die Pipettier volumina.
- b) Die Stammlösung soll aus Calciumchlorid-Hexahydrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) hergestellt werden. Wie gehen Sie vor? (Rechnung + Herstellung).
3. [Nur relevant, wenn Fotometrie-Inhalte bekannt] Eine Farbstofflösung besitzt das Volumen  $100 \text{ mL}$ . Vor der fotom. Bestimmung wurden  $5 \text{ mL}$  dieser Lösung auf insgesamt  $10 \text{ mL}$  mit Wasser verdünnt. Die Absorbanz dieser verdünnten Lsg. beträgt  $A = 0,900$ . Der Zusammenhang zwischen Absorbanz (y-Achse) und Massenkonzentration (x-Achse in  $\text{mg/L}$ ) lautet  $y = 0,0596 \cdot x - 0,6315$ . Berechnen Sie die Massenkonzentration der Probelösung.
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?
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  $200 \text{ mL}$  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  $100 \text{ mL}$  einer Paracetamol-Stammlösung von  $25 \text{ mg/L}$  benötigt. Die Einwaage an Paracetamol soll aus Genauigkeitsgründen zwischen  $100$  und  $300 \text{ mg}$  liegen. Zur Verfügung stehende folgende Volumenmessgeräte: Messkolben:  $50 \text{ mL}$ ,  $100 \text{ mL}$ ,  $250 \text{ mL}$ ,  $500 \text{ mL}$ , Vollpipetten:  $10 \text{ mL}$ ,  $20 \text{ mL}$ ,  $25 \text{ mL}$ ,  $50 \text{ mL}$ . 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  $200 \text{ mL}$  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 ( $5 \text{ mL}$ ,  $10 \text{ mL}$ ,  $20 \text{ mL}$ ,  $25 \text{ mL}$ ,  $50 \text{ mL}$ ) und Messkolben ( $10 \text{ mL}$ ,  $50 \text{ mL}$ ,  $100 \text{ mL}$ ,  $200 \text{ mL}$ ,  $250 \text{ mL}$ ,  $500 \text{ mL}$ ,  $1 \text{ L}$ ) auch Kolbenhubpipetten zugelassen.
8. Eine Fructoselösung 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:  $150 \text{ mg/L}$ ,  $175 \text{ mg/L}$ ,  $200 \text{ mg/L}$  und  $225 \text{ mg/L}$ . 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	$\beta$ 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  $\text{Ca}^{2+}$ :

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

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  $\text{Ca}^{2+}$  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

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. 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. 5

a) Mischungsgleichung:

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

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

$$0,3 \cdot (V_2 - 200) + 20 \cdot V_2 = 9 \cdot 200 \Rightarrow 0,3V_2 - 60 + 20V_2 = 1800 \Rightarrow V_2 \approx 91,6 \text{ mL}$$

$$V_1 = 200 \text{ mL} - 91,6 \text{ mL} \approx 108,4 \text{ mL}$$

Es werden 108,4 mL der Medikamentenlösung mit 91,6 mL der Kochsalzlösung gemischt. Diese Rechnung vernachlässigt streng genommen allerdings die Volumenkontraktion, diese ist bei 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):  $\beta_1 V_1 = \beta_2 V_2$

$$\Rightarrow 6750 \mu\text{g/L} \cdot 108,4 \text{ mL} = \beta_2 \cdot 200 \text{ mL} \Rightarrow \beta_2 \approx 3659 \mu\text{g/L}$$

**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): 25,50,100,250,5000 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  $\beta_{\text{ist}}$  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  $\text{K}_2\text{SO}_4$ -Teilchen 2  $\text{K}^+$  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**

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

Es müssen 384  $\mu\text{L}$  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 Pipettiervolumenschrittweite von 100  $\mu\text{L}$  entsprechen. Würde man 100  $\mu\text{L}$  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

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